

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Biologie

Studijní obor: Antropologie a genetika člověka



Bc. Magdaléna Černá

**Výpovědní hodnota mineralizace trvalé dentice
pro odhad věku u dvou evropských recentních populací**

Age estimation in two recent European population by assessment of permanent
tooth mineralization

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Jana Velemínská, Ph.D.
Konzultant diplomové práce: Doc. RNDr. Jaroslav Brůžek, Ph.D.

PRAHA 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 7. 8. 2015

Podpis:

Poděkování

Ráda bych poděkovala především své školitelce RNDr. Janě Velemínské, Ph.D. za její rady a připomínky, které mi v průběhu vypracovávání práce poskytla, za její vřelý přístup a povzbuzování. Můj velký dík patří také Mgr. Jáně Dupejovi za četné odborné konzultace týkající se statistického zpracování dat, především v oblasti data miningu. Dále bych chtěla poděkovat Doc. RNDr. Jaroslavu Brůžkovi, Ph.D. za cenné rady a dodání literárních zdrojů. Mé poděkování patří také Vanesse Urzel, D.D.S, MSc., která mi poskytla potřebný materiál týkající se francouzské populace pro vypracování této práce i rady ohledně hodnocení mineralizace chrupu. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině za neustálou podporu během celého studia.

Abstrakt

Odhad věku je nedílnou součástí forenzní, bioarcheologické i biomedicínské praxe. Tato diplomová práce se zabývá odhadem věku na základě hodnocení mineralizace trvalého chrupu podle kritérií navržených ve studii Demirjian et al. (1973). Jako výzkumný materiál sloužily panoramatické RTG snímky dentice 716 českých a 743 francouzských dětí ve věku 4 až 15 let. Cílem práce bylo otestovat vhodnost použití původních francouzsko-kanadských standardů pro odhad věku z počátku první poloviny minulého století (Demirjian a Goldstein, 1976) a recentních belgických standardů (Willems et al., 2001). Práce si dále kladla za cíl vyhodnotit přesnost odhadu věku s použitím metody neuronových sítí, která představuje zcela nový přístup v oblasti predikce dat. Za účelem vyjádření přesnosti odhadu věku jednotlivých metod byl použit průměrný rozdíl i medián rozdílů mezi skutečným a dentálním věkem, a RMS chyba odhadu. Pomocí logistické regrese byly rovněž vyhodnoceny interpopulační a intersexuální rozdíly v dentálním vývoji. Z výsledků studie vyplývá, že při použití francouzsko-kanadských standardů je věk u české i francouzské populace systematicky nadhodnocen. V českém souboru byl průměrný rozdíl mezi skutečným a dentálním věkem u obou pohlaví 0,33 roku. V případě francouzské populace byl průměrný rozdíl u dívek 0,45 roku a u chlapců 0,46 roku. Willemsova metoda i metoda neuronových sítí chybu odhadu snížila. S použitím belgických standardů byl průměrný rozdíl mezi skutečným a odhadovaným věkem u českých dívek -0,04 roku a u chlapců 0,08 roku, u francouzské populace dívek byl rozdíl 0,09 roku a chlapců 0,14 roku. Metoda neuronových sítí vykazovala nejnížší průměrný rozdíl – u obou populací byl rozdíl menší než 0,001 roku, přesto se srovnáním absolutní chyby odhadu Willemsovy metody a metody neuronových sítí nepotvrdil statisticky významný rozdíl. Z výsledků hodnocení pohlavního dimorfismu v dentálním vývoji vyplývá, že dívky vykazují oproti chlapcům urychlený dentální vývoj. Nejvýraznější pohlavní dimorfismus byl potvrzen v případě špičáku. Srovnáním dentálního vývoje mezi oběma populacemi jsme potvrdili statisticky významné rozdíly, proto navrhuje vytvořit populačně specifické standardy pro obě evropské populace.

Klíčová slova: dentální věk, odhad věku, dentice, mineralizace, Demirjianova metoda, Willemsova metoda, neuronové sítě, populační specifita

Abstract

Age estimation is a common requirement in forensic, bioarcheological and biomedical practice. This master thesis deals with age estimation based on permanent tooth mineralization according to Demirjian et al. (1973). The research material consisted of orthopantomograms of 716 Czech and 743 French children aged between 4 and 15 years. The purpose of this study was to analyse the suitability of the original French-Canadian standards for age estimation (Demirjian and Goldstein, 1976) and the recent Belgian standards (Willems et al., 2001) in Czech and French population. Another aim of the study was to evaluate the accuracy of the neural network method that represents a completely new approach in data prediction. In order to express the accuracy of estimate we used mean and median of difference between chronological and dental age, and RMS error. Using logistic regression, differences in tooth mineralization between Czech and French population and between girls and boys were also evaluated. Our results indicate that the French-Canadian standards gave a consistent overestimation of dental age compared with chronological age. Mean difference was 0,33 years for Czech children and 0,45 and 0,46 years for French girls and boys, respectively. We found that Willem's method and neural network method were more accurate for both populations than Demirjian's method. Using the Belgian standards, the mean difference was -0,04 and 0,08 years for Czech girls and boys, and 0,09 and 0,14 years for French girls and boys, respectively. Neural network showed the lowest mean difference between chronological and dental age – mean difference was less than 0,001 years in both populations, but no significant difference was found between absolute errors of estimate of Willem's method and neural network method. Statistically significant differences between dental age of girls and boys were confirmed. Girls reached the majority of developmental stages ahead of boys. The largest sexual dimorphism was found in canines. Comparing dental development between Czech and French population, statistically significant differences were found, so we recommend establishing new population-specific standards for both European populations.

Keywords: dental age, age estimation, dentition, mineralization, Demirjian's method, Willem's method, neural network, population specificity

OBSAH

1. Úvod	8
2. Teoretická část.....	10
2.1 Odhad věku	10
2.2 Biologický věk a jeho markery	11
2.2.1 Kostní věk.....	12
2.2.2 Dentální věk.....	14
2.3 Lidská dentice	15
2.3.1 Chrup jako celek	15
2.3.2 Anatomická a histologická stavba zubu	16
2.3.3 Prenatální a postnatální vývoj dentice.....	17
2.3.4 Faktory ovlivňující dentální vývoj.....	20
2.3.4.1 Pohlavní dimorfismus	20
2.3.4.2 Populační specifita.....	21
2.3.4.3 Geneticky podmíněné choroby a další patologie	23
2.3.4.4 Environmentální faktory	24
2.3.4.5 Sekulární trend	26
2.4 Metody hodnocení vývoje dentice pro odhad věku	27
2.4.1 Metody hodnocení mineralizace chrupu u dětí a juvenilních jedinců.....	28
2.4.2 Demirjianova metoda a její modifikace	32
2.5 Data mining – neuronové sítě	34
3. Hypotézy a cíle práce.....	35
4. Materiál.....	36
5. Metodologie.....	39
5.1 Hodnocení mineralizace trvalého chrupu	39
5.2 Willemsova metoda.....	42
5.3 Statistické zpracování dat	43
5.3.1 Cohenova kappa.....	43
5.3.2 Parametrické a neparametrické testy.....	44
5.3.3 RMS chyba	44
5.3.4 Logistická regrese	45
5.3.5 Metoda neuronových sítí	46
5.3.6 Základní statistické charakteristiky.....	48
6. Výsledky	49
6.1 Intraobservační chyba.....	49
6.2 Hodnocení metod pro odhad věku	50

6.2.1	Hodnocení dentálního věku pomocí Demirjianovy metody	50
6.2.2	Hodnocení dentálního věku pomocí Willemsovy metody	56
6.2.3	Hodnocení dentálního věku pomocí metody neuronových sítí	62
6.2.4	Srovnání jednotlivých metod pro odhad věku	68
6.3	Hodnocení mezipopulačních rozdílů pomocí logistické regrese	70
6.4	Hodnocení mezipopulačních rozdílů pomocí neuronové sítě	75
6.5	Hodnocení pohlavního dimorfismu v dentálním vývoji	78
7.	Diskuze	81
8.	Závěr	88
9.	Seznam použité literatury	89

1. Úvod

Zuby se řadí mezi fylogeneticky starší útvary dutiny ústní, jejichž primární funkcí je především mechanické zpracování potravy. Zároveň však mohou být nositeli velmi cenných informací jak o zdraví a způsobu života jedince, tak o jeho věku (např. Moorrees et al., 1963; Demirjian et al., 1973, Richards et al., 2002, Kaupová et al., 2014). Věk je nejen významným sociálním a kulturním faktorem, ale také důležitým parametrem pro úspěšnou profilaci a identifikaci jedince. Věk se řadí spolu s pohlavím, výškou a populační příslušností do tzv. velké čtyřky, pomocí které se sestavuje základní biologický profil jedince (Temoananui et al., 2008).

Odhad věku na základě dentice má dlouhou tradici. První záznamy o snaze odhadnout věk pomocí zubů pocházejí již z první poloviny 19. století (Hillson, 1996). Dnes patří odhad věku pomocí zubů k základním úkonům forenzní i bioarcheologické praxe (Boccone et al., 2010; Vodianović et al. 2011). Zuby se v období dětství a dospívání považují za nejspolehlivější věkové indikátory, jelikož jsou oproti jiným indikátorům věku mnohem méně ovlivněny faktory vnějšího prostředí a jejich vývoj je mnohem více regulován prostřednictvím genů (Thesleff a Sharpe, 1997; Merwin a Harris, 1998).

Pro odhad věku na základě dentice vznikla celá řada metod. Jedna z nejpoužívanějších je metoda podle Demirjiana (Demirjian et al., 1973; Demirjian a Goldstein, 1976), která hodnotí mineralizaci 7 zubů levého kvadrantu dolní čelisti pomocí 8 stádií. Standardy pro odhad věku byly vytvořeny na základě studie dentálního vývoje francouzsko-kanadské populace z počátku první poloviny minulého století. Řada studií testovala spolehlivost Demirjianovy metody i na jiných populacích (např. Prabhakar et al., 2002; Urzel a Bruzek, 2013; Gilbert et al., 2014). Většina z nich však prokázala signifikantní nadhodnocení věku, které je často interpretováno jako důsledek interpopulační variability. Z tohoto důvodu dochází k častým modifikacím původního skórovacího systému a vznikají nové populačně specifické standardy (např. Willems et al., 2001). V literatuře však můžeme narazit na názor, že nadhodnocení věku při použití původních francouzsko-kanadských standardů je důsledek působení sekulárního trendu a že pro účely odhadu věku postačuje jediný, populačně nespecifický standard (Liversidge et al., 2006).

Tato diplomová práce vychází z hodnocení panoramatických snímků dentice české a francouzské dětské populace na základě kritérií navržených ve studii Demirjian et al. (1973). Cílem práce je u obou evropských populací vyhodnotit vhodnost použití

Demirjianovy metody (Demirjian a Goldstein, 1976) i její modifikace, provedené ve studii Willems et al. (2001) na základě studie dentálního vývoje recentní populace belgických dětí. Práce si dále klade za cíl určit přesnost odhadu věku s použitím metody neuronových sítí. Provedeno bude zároveň interpopulační a intersexuální srovnání dentálního vývoje.

2. Teoretická část

2.1 Odhad věku

Věk je jedním z klíčových parametrů pro úspěšnou identifikaci jedince. Na základě věku, pohlaví, výšky a populační příslušnosti se sestavuje biologický profil jedince (Temoananui et al., 2008). Z tohoto důvodu je odhad věku důležitý především v paleoantropologii, bioarcheologii či forenzní antropologii.

V případě forenzních disciplín je odhad věku vyžadován především v souvislosti s posouzením trestní odpovědnosti osob¹ (Schmeling et al., 2003, Aggarwal et al., 2008; Acharya, 2011) či s identifikací lidských ostatků, například při dopravních nebo přírodních katastrofách (Schuller-Götzburg a Suchanek, 2007; Babshet et al., 2010). Odhad věku je také významný v zemích se stoupajícím počtem ilegálních přistěhovalců a uprchlíků, kteří postrádají platné identifikační dokumenty nebo je odmítají poskytnout (Kreitner et al., 1998; Cruz-Landeira et al., 2010). Potíže mohou nastat například s pobíráním sociálních dávek, přihlášením dítěte do školního zařízení či s žádostí o azyl. Během identifikačních procesů neznámého kosterního nálezu se odhadem věku může potvrdit či vyvrátit shoda s nezvěstnou osobou (Foti et al., 2003; Cunha et al., 2009). Ověření věku může být nutné také v případě adopce dítěte, pokud chybí jeho rodný list nebo existují nesrovnalosti ohledně data narození (Melsen et al., 1986; Rai a Rafalzadeh, 2010; De Donno et al., 2013). Další uplatnění metod pro odhad věku se týká nárůstu počtu případů dětské pornografie, kdy je nutné odhadnout věk subjektu na fotografii či ve videu (Cunha et al., 2009). Vzrůstající důležitost odhadu věku v rámci forenzní praxe dokládá fakt, že se každým rokem zvyšuje počet žádostí o přezkoumání stáří vyšetřovaných osob (Schmeling et al., 2000).

S odhadem věku dožití se v bioarcheologii a paleoantropologii setkáváme především za účelem rekonstrukce paleodemografické struktury a podmínek života minulých populací (Cardoso, 2007; Boccone et al., 2010). Na rozdíl od forenzní antropologie se bioarcheologie primárně nesnaží provést pozitivní identifikaci jedince (Stanford et al., 2013). Odhad věku dožití u kosterních pozůstatků minulých populací je ztížen mnoha fakty. V první řadě může odhad věku zkomplikovat stav zachovalosti

¹ Ve většině evropských zemí je zákonem stanovená věková hranice pro trestní zodpovědnost v rozmezí 12 až 16 let. V některých státech však může být jedinec zodpovědný za své činy již od 7 let věku (Kratochvíl, 2010). V České republice není podle trestního zákoníku trestně odpovědná osoba mladší 15 let (§ 25, zákona č. 40/2009 Sb., trestní zákoník). Ve Francii je věková hranice trestní odpovědnosti posunuta o dva roky níže na 13 let.

kosterního nálezu. U příliš poškozeného a zlomkovitého nálezu se ztrácí výrazná část informací. V druhé řadě jsou pro stanovení věku používány normativní hodnoty současné populace, která může nebo nemusí být pro daný kosterní soubor vhodná (LampI a Johnston, 1996).

Pro odhad věku existuje celá řada metod vycházejících jak z makroskopických, tak histologických technik. Jednotlivé metodologie se opírají o hodnocení lidské kostry na různých úrovních – od hodnocení osifikace kostí kostry ruky přes posouzení stavu dentice až po hodnocení uzavřenosti lebečních švů (např. Demirjian et al., 1973; Akhlaghi et al., 2010; Cameriere et al., 2012).

Věk jedince lze stanovit v určitých etapách života s různým stupněm přesnosti. Přesnost odhadu klesá s narůstajícím věkem (např. Velemínska et al., 2013). Zatímco u dětí a dospívajících je odhadovaný věk udáván v řádech měsíců, u dospělých jedinců se jedná o roky či desítky let (Solheim a Sundnes, 1980; Chaillet a Willems, 2004). Vyšší přesnost odhadu věku u dětí souvisí s tím, že v období vývoje organismu se odehrávají mnohem výraznější změny a to v kratších časových intervalech. Tyto změny lze poté velmi snadno zaznamenat (Bolaños et al., 2000). U dospělých jedinců s již ukončeným vývojem je nutné zaměřit se na postup degenerativních změn souvisejících s opotřebením organismu. Tyto změny však podléhají vlivům vnějšího i vnitřního prostředí mnohem výrazněji, než je tomu v případě vývojových změn v mladším věku, kdy je vývoj mnohem regulovanější a synchronizovanější. Zároveň bývá hodnocení degenerativních změn mnohem subjektivnější (Braga et al., 2005; Cunha et al., 2009; Babshet et al., 2010; Akhlaghi et al., 2010).

Je nutné zdůraznit, že pomocí těchto metod se neodhaduje přímo věk kalendářní (chronologický), nýbrž věk biologický, o kterém bude podrobněji pojednáno v následující kapitole.

2.2 Biologický věk a jeho markery

S vývojem živého organismu dochází k významným změnám v rámci všech jeho tělních soustav. Na základě zralosti či stupně tělesného vývoje jedince se stanovuje biologický neboli fyziologický věk (Hermanussen, 2013). Biologický věk může s chronologickým čili kalendářním věkem korelovat, nelze však jeden za druhý zaměňovat. Jedinci stejného kalendářního věku mohou dosahovat odlišného stupně vývoje v závislosti

na rozdílném uplatnění genetických a negenetických faktorů (Ardakani et al., 2007). Přesto se v bioarcheologické i forenzní praxi z důvodu lepší představivosti a snazšího přenosu informací do dalších oborů upřednostňuje vyjádření ve věku chronologickém místo věku biologickém, respektive se od sebe oba termíny neoddělují (Dobisíková, 1999).

Z klinického hlediska je biologický věk významným parametrem nezbytným při diagnostice růstových poruch (Maber et al., 2006; De Donno et al., 2013). Srovnáním vývojového stádia jedince s normativními daty příslušné populace lze zhodnotit jeho zdravotní stav a v případě nesouladu a překročení fyziologických hranic vývoje lze usuzovat o možné patologii (Vlček, 1994).

Rozlišuje se několik vývojových markerů, na základě kterých je biologický věk odhadován. Podle charakteru těchto věkových indikátorů bývá biologický věk označován jako věk morfologický, věk dentální, věk kostní a věk pohlavní zralosti (Demirjian et al., 1973).

Pro stanovení morfologického věku bývá sledovaným tělesným parametrem zpravidla výška a váha jedince (Rózylo-Kalinowska et al., 2008). Věk pohlavní zralosti se posuzuje na základě vývoje sekundárních pohlavních znaků (Marshall a Tanner 1969; Marshall a Tanner 1970). Vzhledem k vysoké variabilitě těchto zmíněných markerů biologického věku se pro odhad chronologického věku doporučuje posuzovat výhradně kostní a dentální zralost jedince (Ritz-Timme et al., 2000).

2.2.1 Kostní věk

Kostní věk je u dětí a dospívajících určen na základě stupně osifikace kostry. Pro jeho stanovení se kromě počtu a velikosti osifikačních center v epifýzách, diafýzách a apofýzách kosti sleduje i uzavřenost epifyzárních štěrbin. U dospělých jedinců je nutné zaměřit se především na degenerativně produktivní změny či na změny ve vnitřní struktuře kosti, které se stárnutím organismu souvisejí.

Pro odhad kostního věku se v období dětství a dospívání uplatňují především analýzy rentgenových snímků kostry ruky a distální části předloktí. Pro stanovení stupně kostního vývoje se nejčastěji používá atlasová metoda podle Greulich a Pyla (Greulich a Pyle, 1959) či metoda navržená Tannerem a Whitehousem (Tanner et al., 1975).

K odhadu kostního věku se uplatňují též kosti dlouhého typu. Kromě měření délky diafýz kosti, sledování osifikačních center a fúze těl kostí s jejich epifýzami (Cameriere

et al., 2012), se měří i celková délka kosti (Cardoso, 2007). Velký potenciál s sebou nesou metody sledující osifikaci v distálních epifýzách kosti stehenní a proximálních epifýzách kosti holenní a kosti lýtkové. Tato oblast kolenního kloubu má oproti oblasti ruky a zápěstí tu přednost, že epifýzy kolene jsou mnohem větší než epifýzy kostí ruky, zachovávají se déle a jsou přítomny již od narození (Conceição a Cardoso, 2011). Za účelem stanovení kostní zralosti lze mimo jiné analyzovat morfologické změny na tělech a obloucích krčních obratlů (Hassel a Farman 1995; Baccetti et al., 2005).

U dospělých jedinců se sledují změny v oblasti *symphysis pubica* (Sinha a Gupta 1995; Martins et al., 2012) či v oblasti křížokyčelního spojení na aurikulární ploše kyčelní kosti (Lovejoy, 1985; Igarashi et al., 2005). Existují též metody založené na pozorování involučních změn na sternálních koncích žeber (Kurki, 2005, Hartnett, 2010) nebo srůstu lebečních švů (Akhlaghi et al., 2010). Tento přístup se ovšem z důvodu nepřesných a nespolehlivých výsledků odhadu nedoporučuje (Hershkovitz et al., 1997). V průběhu života dochází k výrazným změnám také ve vnitřní struktuře kostí. V minulosti bylo definováno několik stádií pro strukturní změny v dlouhých kostech (Nemeskéri et al., 1960; Szilvássy a Kritschner, 1960). Recentnější studie ovšem spolehlivost odhadu na základě tohoto parametru zpochybňuje (Gehring et al., 2002). Většího významu pro odhad kostního věku dospělého jedince nabývá především ve forenzní antropologii klíční kost. Sekundární osifikační centrum se v mediální epifýze klíční kosti objevuje až v období adolescence a odhad věku tak může být aplikovatelný u jedinců starších 40 let (Kreitner et al., 1998, Falys a Prangle., 2015). Několik studií se zabývalo chronologií osifikace štítné chrupavky a jejího využití pro odhad věku u dospělých jedinců, nicméně názory na spolehlivost odhadu věku se různí (Vlcek, 1980; Dang a Diep, 2010). Pro odhad kostního věku lze také použít stupeň fúze velkých rohů jazyčky s tělem kosti (Gupta et al., 2008).

Z důvodu nižší přesnosti odhadu věku u dospělých jedinců se doporučuje hodnotit kostru komplexněji a kombinovat více metod najednou (Ritz-Timme et al., 2000). Díky tomu se můžeme snadněji vyvarovat získání zavádějícího výsledku ovlivněného následky patologických změn či nadměrným opotřebením (Dobisíková, 1999).

2.2.2 Dentální věk

Na základě mineralizace či erupce zubů lze posoudit stupeň dentální zralosti dítěte a odhadnout tak jeho dentální, respektive chronologický věk (např. Demirjian et al., 1973, AlQuahtani et al., 2010). U jedinců s plně vyvinutým chrupem je nutné zaměřit se na rozvoj involučních změn, ke kterým v průběhu stárnutí organismu dochází (např. Gustafson, 1950; Rösing a Kvaal, 1998; Gilmore a Grote, 2012).

Metody posuzující stav dentice na základě stádií mineralizace chrupu se považují za mnohem spolehlivější než metody založené na erupci zubu (Leurs et al., 2005; Solheim a Vonen, 2006). Posouzení maturace jedince podle erupce je limitováno intervalem, kdy k tomuto procesu obvykle nedochází, tedy v období od 2,5 až 6 let a posléze od 12. roku života, nepočítáme-li prořezání třetí stoličky, která může prořezávat až po 24. roce života (Demirjian a Levasque, 1980; Olze et al., 2006). Erupce zubů může být ovlivněna mnoha faktory, které její průběh zpomalí nebo naopak urychlí. Mezi tyto faktory se řadí předčasná či naopak pozdní extrakce mléčného zubu, ankylóza, nedostatek prostoru pro trvalý zub či malnutrice (Demirjian et al., 1973; Psoter et al., 2008). Zatímco proces mineralizace je řízen činností hypofýzy, hlavním regulátorem procesů prořezávání zubů je nestabilní štítná žláza (Kominek a Rozkocová, 1984; Vlček, 1994). Metodám založeným na vývojových stádiích dentice (mineralizace chrupu) bude věnována samostatná kapitola.

Dentální vývoj je oproti jiným věkovým indikátorům méně ovlivněn faktory vnějšího prostředí a mnohem více kontrolován prostřednictvím genů, a to až z 84 % (Thesleff a Sharpe, 1997; Merwin a Harris, 1998). Studie zabývající se dentálním vývojem dětí adoptovaných rodinami s lepšími životními podmínkami prokázala zrychlení kostního vývoje, ne však dentálního (Melsen et al., 1986). V dentálním vývoji se výrazně neprojevuje dlouhodobá malnutrice (Melsen et al., 1986; Elamin a Liversidge, 2013) ani rozdíly v socioekonomickém statusu (Cardoso, 2007). Nízká variabilita vývoje dentice může být dána skutečností, že se vývoj všech dočasných a části trvalých zubů odehrává již prenatálně, kdy je dentice lépe chráněna před nepříznivými vlivy (Ardakani et al., 2007). Rezistenci vůči vnějšímu prostředí, během života i po smrti jedince, zajišťují mimo jiné strukturní vlastnosti skloviny. Na základě těchto skutečností lze usoudit, že zuby jsou v období dětství a dospívání jedince nejspolehlivějšími indikátory chronologického věku. Přesto nelze výše zmíněné vlivy v souvislosti s dentálním vývojem zcela opomíjet. O míře jejich vlivu na dentální vývoj bude pojednáno v samostatné kapitole.

K nejvýraznějším změnám, ke kterým během zvyšujícího se věku dochází, patří opotřebenost zubní tkáně v oblasti funkčního kontaktu antagonistických zubů neboli atrice. Některé metody jsou založeny pouze na hodnocení stupně atrice (např. Miles, 1963, Lovejoy, 1985), jiné na kombinaci s dalšími morfologickými změnami (Gustafson, 1950; Acharya a Kumar, 2011). V průběhu života jedince dochází k prstencovitému ukládání vrstev zubního cementu, přičemž počet těchto vrstev podle některých autorů s chronologickým věkem silně koreluje (Kagerer a Grupe, 2001; Wittwer-Backofen et al., 2004; Aggarwal et al., 2008). Nepřímým věkovým indikátorem může být velikost dřevné dutiny, která se s vyšším věkem zmenšuje vlivem ukládání sekundárního dentinu (Kvaal et al., 1995). Dále se může u dospělých jedinců posuzovat transparentnost kořene (Gustafson, 1950; Acharya a Kumar, 2011), změna barvy zubů (Solheim, 1988), ústup periodontálních ligament (Lamendin et al., 1992) či resorpce kořene (Gustafson, 1950). Stejně jako v případě stanovení kostního věku dospělých jedinců je nutné posuzovat stav chrupu komplexněji. Může se jednat jak o kombinaci několika dentálních indikátorů, tak indikátorů dentálního a kostního věku (např. Garamendi et al., 2005).

2.3 Lidská dentice

2.3.1 Chrup jako celek

Lidský chrup neboli dentice se skládá ze čtyř typů zubů: řezáků (*incisivi*), špičáků (*canines*), třenových zubů (*premolars*) a stoliček (*molars*). Chrup s takto tvarově i funkčně specializovanými zuby označujeme jako chrup heterodontní. V horní čelisti tvoří zuby horní zubní oblouk (*arcus dentalis superior*), v dolní čelisti dolní zubní oblouk (*arcus dentalis inferior*), (Čihák, 2002).

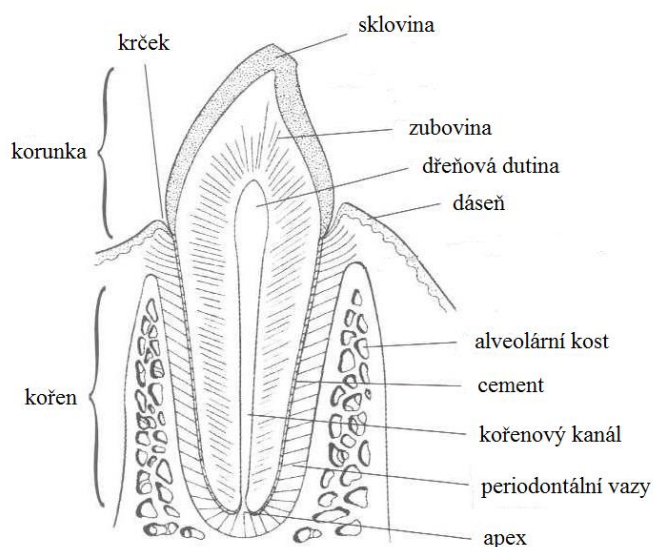
Během života každého jedince se vytváří dvě sady zubů. První neboli primární, dočasná dentice, je složena z 20 zubů. Kolem 6. roku života je tato dentice postupně nahrazována sekundární, trvalou denticí, která se skládá z 32 zubů. Období, ve kterém k výměně zubů dochází, se označuje jako období smíšené dentice a trvá přibližně 6 let (Nelson a Ash, 2010). Pro označení typu zubu se nejčastěji používá písmeno, kterým začíná latinský název zubu. Trvalý chrup se značí písmeny velké abecedy, zuby dočasného chrupu písmeny malé abecedy, popřípadě římskými číslicemi. U řezáků, třenových zubů a stoliček se pomocí číselného indexu určuje pořadí daného typu zubu (Jansová a Eber, 1996).

Dentici můžeme rozdělit do 4 kvadrantů: pravý horní kvadrant, pravý dolní kvadrant, levý horní kvadrant a levý dolní kvadrant. Každý kvadrant trvalé dentice obsahuje dva řezáky – centrální a laterální (I_1 , I_2), jeden špičák (C), dva třenové zuby (P_1 , P_2) a tři stoličky (M_1 , M_2 a M_3). V případě mléčné dentice třenové zuby zcela chybí a stoličky jsou pouze dvě (m_1 , m_2). Počet špičáků (c) i řezáků (i_1 , i_2) je stejný jako u trvalého chrupu (Hillson, 1996).

2.3.2 Anatomická a histologická stavba zubu

U každého zubu můžeme rozlišit několik částí (viz Obr. 1). Zub se skládá z korunky (*corona dentis*), krčku (*collum dentis*) a z jednoho či více kořenů (*radix dentis*). Na povrchu korunky, části zubu vyčnívající z dásně (*gingiva*) do dutiny ústní, se nachází vrstva skloviny (*enamelum*). Kořen, který je zasazen do kostního lůžka (*alveolus dentis*), je obalen cementem (*cementum*). Fixaci zubu v alveolu zajišťují kolagenní vlákna zakotvená v cementu kořene. Tento vazivový systém se označuje jako ozubice (*periodontium*). V oblasti krčku zubu se nachází cementosklovinné spojení.

Většinu hmoty zubu vyplňuje zubovina (*dentinum*), uvnitř které se nachází dřeňová dutina (*cavitas dentis*). Dutina je vyplněná zubní dřeň (*pulpa dentis*) obsahující cévní a nervové pleteně. Dřeňová dutina začíná od špičky kořene (*apex radialis dentis*) jako kořenový kanál (*canalis radialis dentis*), kde se nachází otvor (*foramen apicis dentis*), kudy do dřeně vstupují cévy a nervy (Türp a Alt, 1998; Scheuer a Black, 2000; Goldberg et al., 2011).



Obr. 1. Vnější a vnitřní stavba zubu (upraveno podle Scheuer a Black, 2000).

Zub je složen ze čtyř různých tkání – měkké tkáně zubní dřevě a tří tvrdých, mineralizovaných tkání dentinu, skloviny a cementu.

Organická matrix zubu je tvořena především kolagenem, lipidy, peptidy, glykoproteiny a glykosaminoglykany. Majoritní anorganickou složkou zubní tkáně představuje stejně jako v případě kostní tkáně fosforečnan vápenatý ve formě krystalů hydroxyapatitu $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, (Holly, 1991; Hillson, 2005).

Sklovina je tkáň charakteristická nízkým obsahem proteinové složky a velmi vysokým množstvím vápenatých solí (95% suché hmotnosti), díky čemuž je nejtvrdší tkání lidského těla (Junqueira, 1997; Goldberg et al., 2011). Z tohoto důvodu je také nejméně propustná pro rentgenové paprsky a na RTG snímcích se jeví jako nejbělejší část zubu (Türp a Alt, 1998). Dentin je tvrdá tkáň podobná kosti, avšak s vyšším obsahem vápenatých solí (65 % suché hmotnosti). Zubní cement se svým složením rovněž podobá kostní tkáni, nicméně je ze všech mineralizovaných tkání nejměkčí (Goldberg et al., 1995). Dentin a cement mají z důvodu nižšího obsahu minerálních látek oproti sklovině vyšší propustnost, proto je jejich barva na RTG snímcích mnohem tmavší a můžeme je od skloviny snadno odlišit. Dřeňová dutina bývá nemineralizovaná a pro rentgenové záření zcela propustná, z tohoto důvodu se radiograficky jeví tmavě (Türp a Alt, 1998).

2.3.3 Prenatální a postnatální vývoj dentice

Lidské zuby se vyvíjejí jako samostatné jednotky (Elamin a Liversidge, 2013). Jejich vývoj představuje kontinuální proces, během kterého se formuje nejprve korunka zubu, poté jeho kořen. Dentální vývoj je podmíněn interakcí epitelálních a ektomezenchymových buněk – zuby vznikají invaginací ústního ektodermu do mezenchymu čelisti (Mitsiadis a Graf, 2009; Jussila a Thesleff, 2012).

Vývoj dentice začíná již v 6. prenatálním týdnu tvorbou horní a dolní zubní lišty, ve kterých se vytváří základy mléčných zubů ve formě zubních pupenů (Junqueira, 1997). Z ektodermové složky zubních pupenů vzniká tzv. sklovinný orgán. Z vnitřního epitelu sklovinného orgánu se diferencují ameloblasty, jež jsou zodpovědné za produkci organické matrix skloviny. Buňky ektomezenchymového původu se diferencují do odontoblastů a cementoblastů, které syntetizují organickou matrix dentinu a zubního cementu. Z ektomezenchymové složky vzniká nejprve tzv. zubní papila, která se postupně zhušťuje

a indukuje proliferaci ektodermu. V důsledku proliferace vstupují zubní pupeny do stádia zubního pohárku a následně do stádia zvonku (Goldberg et al., 1995; Junqueira, 1997; Vacek, 2006; Goldberg et al., 2011).

Organická matrix dentinu není zpočátku mineralizována a nazývá se preidentin. Mineralizace preidentinu začíná až po vzniku tzv. matrixových vezikul, váčků ohraničených membránou, které obsahují jemné krystalky hydroxyapatitu sloužící jako krystalizační jádro pro další ukládání minerálů na okolních kolagenních vláknech organické matrix (Junqueira, 1997).

Diferenciace ameloblastů započne hned poté, co je vytvořena tenká vrstva preidentinu (Simmer et al., 2010). Tvorba skloviny probíhá v uzavřeném extracelulárním prostoru mezi vrstvou ameloblastů a dentinem. Hlavním proteinem sklovinné matrix je amelogenin, další proteiny (enamelin a ameloblastin) jsou secernovány v menší míře. Všechny proteiny organické matrix skloviny vytvářejí rozsáhlý extracelulární systém, do kterého se ukládají vápenaté a fosfátové ionty (Simmer a Finchman, 1995; Robinson et al., 1998). S procesem mineralizace zároveň probíhá proces degradace amelogeninu a dalších sklovinných proteinů z důvodu vytvoření potřebného prostoru pro anorganickou složku tkáně (Lu et al., 2008).

Po dokončení vývoje korunky dochází k obklopení zubní papily zevním i vnitřním sklovinným epitelem, vzniká tak Hertwigova kořenová pochva. Po dokončení dentinogeneze se kořenová pochva rozpadá a nově tvořený dentin indukuje diferenciaci cementoblastů (Junqueira, 1997).

Mineralizaci jednotlivých mléčných zubů lze pozorovat již od 14. týdne nitroděložního života (Bailleul-Forestier et al., 2008a). Zpravidla nejprve mineralizují centrální řezáky, později laterální řezáky. Přibližně v 15. týdnu lze pozorovat počátek mineralizace první stoličky a kolem 17. týdnu dochází k mineralizaci špičáků. Jako poslední zuby dočasné dentice začínají mezi 18. a 19. týdnem mineralizovat druhé stoličky. S výjimkou trvalé stoličky M_1 , jejíž mineralizace probíhá od 30. fetálního týdne, mineralizují ostatní zuby trvalého chrupu až postnatálně (Nelson a Ash, 2010). Mezi 3. a 4. měsícem mineralizují oba dolní řezáky i horní centrální řezák. Mineralizace horního laterálního řezáku probíhá až koncem 1. roku života dítěte. V průběhu 5. měsíce lze pozorovat počátek mineralizace horních i dolních špičáků. Během 2. a 3. roku se postupně začínají vyvíjet všechny třenové zuby i druhá stolička (Hillson 1996; Nelson a Ash, 2010).

V porovnání s ostatními zuby trvalé dentice začíná s nemalým zpožděním mineralizovat třetí stolička (Olze et al., 2006).

Vývoj dočasného chrupu je dokončen po narození, přibližně ve 4. roce života (Liversidge a Molleson, 2004). Nejprve dokončují svůj vývoj řezáky, poté první a následně druhé stoličky. Jako poslední dokončují vývoj špičáky (Nelson a Ash, 2010). Dokončení vývoje trvalého chrupu je mnohem variabilnější. První stolička a oba řezáky dokončují svůj vývoj v 9 až 12 letech. Všechny ostatní zuby trvalého chrupu jsou plně vyvinuty po 12. roku života (Hillson, 1996). Třetí stolička nezačíná svůj vývoj, dokud nejsou vyvinuty korunky všech předešlých zubů (Olze et al, 2006).

Erupce zubu je proces, při kterém zub proniká čelistí a následně dásní do dutiny ústní a směřuje k okluzní rovině (Liversidge a Molleson, 2004). Jedná se o nepřetržitý proces, který probíhá po celý život jedince (Marks a Schroeder, 1996; Kumar a Sridhar, 1990). Termínem erupce je často nesprávně označován proces gingiválního prořezávání zubu, které představuje pouze jednu část tohoto kontinuálního procesu (Nelson a Ash, 2010). Po dosažení okluzní roviny se začne zub na své okluzní ploše opotřebovávat, což přispívá k trvalé erupci zubu. Rychlost erupce není konstantní, ale mění se v jejím průběhu. Uvnitř alveolární kosti je zubu během utváření korunky umožněn jen minimální krouživý pohyb. Po dokončení vývoje korunky a počátku formování kořene se zub pohybuje již aktivněji směrem k okluzi (Marks a Schroeder, 1996).

Dočasné zuby začínají prořezávat do dutiny ústní již v prvních měsících života. Do konce 2. roku jsou obvykle prořezány dolní i horní řezáky, přičemž pořadí, ve kterém prořezávají, vykazuje vysokou stabilitu. První stoličky se objevují okolo 15. až 18. měsíce, špičáky kolem 16. až 19. měsíce. Jako poslední prořezává druhá stolička, kolem 23. až 30. měsíce (Townsend a Hammel, 1990). Pořadí prořezaných zubů trvalé dentice bývá zpravidla M₁, I₁, I₂, P₁, P₂, C, M₂ a M₃ (Vacek, 2006).

Po ukončení vývoje dentice, tedy po 20. roce života, kdy je plně vyvinuta třetí stolička, dochází k morfologickým změnám a postupnému opotřebení chrupu jedince (Gustafson, 1950; Lovejoy, 1985).

2.3.4 Faktory ovlivňující dentální vývoj

Vývoj zubů a jejich erupce může být variabilní v závislosti na řadě faktorů, které mohou mít jak genetický tak negenetický podklad (Ardakani et al., 2007). Mezi genetické faktory ovlivňující dentální vývoj můžeme řadit například pohlavní dimorfismus, populační specifitu či geneticky podmíněné choroby. Faktory působící nezávisle na genetické výbavě jedince představují vlivy vnějšího prostředí neboli environmentální vlivy. Tyto vlivy vedou sice k malým nicméně v některých případech signifikantním změnám v rychlosti a načasování zubního vývoje a prořezávání zubů (např. Triratana et al., 1990; Teivens a Mörnstad, 2001). Na variabilitě dentálního vývoje se může podle některých studií podílet i sekulární trend (např. Liversidge et al., 1999; Maber et al., 2006).

2.3.4.1 Pohlavní dimorfismus

Řada studií zabývajících se pohlavním dimorfismem v dentálním vývoji potvrdila, že k dokončení vývoje dočasného i trvalého chrupu dochází zpravidla dříve u dívek než u chlapců (Lewis a Garn, 1960; Demirjian a Levesque, 1980; Al-Emran, 2008). Přesto lze v některých případech při dosažení určitých stádií pozorovat opačný trend (Arany et al., 2004). Výjimku může představovat M_3 , u které často dochází k dokončení vývoje dříve u chlapců (Bai et al., 2008). Přijatelným vysvětlením může být fakt, že vývoj M_3 začíná na rozdíl od ostatních zubů až po začátku pubertálního období, během kterého dochází ke změnám hladin pohlavních hormonů v krvi (Blankenship et al., 2007). V celkovém vývoji třetí stoličky se však pohlavní dimorfismus nemusí signifikantně projevit (Orhan et al., 2007).

Míra pohlavního dimorfismu nemusí být u všech populací stejná. Studie Harris a McKee (1990) porovnávala pohlavní dimorfismus u Afroameričanů a Euroameričanů ve věku 3,5 až 13 let. Výsledkem studie bylo zjištění, že Afroameričané vykazují až dvojnásobně vyšší míru pohlavního dimorfismu než druhá sledovaná skupina (Harris a McKee, 1990).

Pohlavní dimorfismus se neprojevuje ve stejné míře ani u jednotlivých zubů. Demirjian a Levesque (1980) potvrdili největší pohlavní rozdíly u špičáků. Dívky vstupovaly do posledního stádia vývoje tohoto zubu o 0,90 roku dříve (Demirjian a Levesque, 1980). Stejně tak studie Liversidge et al. (2006), která u špičáku potvrdila intersexuální rozdíl 1,5 let (Liversidge et al., 2006). Vypovídající vliv pohlaví na dentální

vývoj lze sledovat i v počtu kalcifikovaných hrbolků trvalé M_1 ve 3 měsících postnatálního života. Ačkoli chlapci mají v tomto věku větší počet hrbolků než stejně staré dívky, ve vyšším věku dívky chlapce předhoní a posledního stádia vývoje (uzavření kanálu na apikálním konci kořene) dosahují o 4 měsíce dříve než chlapci (Gleiser a Hunt, 1955). S podobným trendem pokročilejšího vývoje u dívek se setkáváme i v případě prořezávání zubů. Dívky mohou být oproti chlapcům uspišeny průměrně o 0,69 roku (Swami et al. 1992).

Ačkoli se pohlavní rozdíly v dentálním vývoji neprojevují tak výrazně jako v kostním vývoji (Lewis a Garn, 1960), je podle dosavadních výsledků studií doporučeno využívat pohlavně specifické standardy (např. Demirjian a Levesque, 1980).

2.3.4.2 Populační specifita

Několik studií bylo zaměřeno na rozdíly vývoje dentice mezi jednotlivými populacemi či etniky (např. Teivens a Mörnstad, 2001; Olze et al., 2003; Blankenship et al., 2007; Gilbert et al., 2014).

Výzkumy potvrdily, že evropské populace vykazují nejnižší růstové tempo v porovnání s populacemi subsaharských Afričanů, Afroameričanů i Asiatů, přičemž rychlost dentálního vývoje Asiatů bývá rychlejší než u Evropanů, ale pomalejší než u Afričanů (Olze et al., 2007). Tomuto všeobecnému trendu ovšem odporuje studie srovnávající vývoj švédské a korejské populace. Švédské děti byli ve vývoji přibližně o 2 měsíce (chlapci) až 6 měsíců (dívky) napřed (Teivens a Mörnstad, 2001). Stejným způsobem vyvrací obecný model také studie sledující vývoj dentice u Japonců a Němců, ve které Japonci dosáhli určitého stádia mineralizace průměrně o 2 až 3 roky později než Němci (Olze et al., 2003). Porovnáním dentálního vývoje mezi Afroameričany a Euroameričany žijícími v jižní části USA bylo zjištěno, že Afroameričané dosahují jednotlivých stádií mineralizace signifikantně dříve než Euroameričané (Harris a McKee, 1990). Také studie Blankenship et al. (2007) potvrdila, že Američané bílé pleti dosáhnou jednotlivých stádií mineralizace M_3 přibližně o 1 rok později než Afroameričané (Blankenship et al., 2007). Maki et al. (1999) srovnávali vývojové trendy euroamerických dětí a dětí z Japonska a Číny. Obě asijské populace vykazovaly podobný dentální vývoj, který byl signifikantně opožděnější v porovnání s euroamerickou populací (Maki et al., 1999).

Zajímavé výsledky prezentují studie zabývající se rozdíly dentálního vývoje mezi populacemi různého původu žijícími ve stejné geografické oblasti (Liversidge et al., 1999; Burt et al., 2011). Liversidge et al. (1999) nepotvrdili signifikantní rozdíly v dentálním vývoji mezi britskými a bangladéšskými dětmi žijícími v Londýně. Tyto děti však byly dentálně pokročilejší v porovnání s francouzsko-kanadskou populací, což Liversidge zdůvodňuje působením pozitivního sekulárního trendu v rámci dentálního vývoje (Liversidge et al., 1999). Protikladem k výsledkům Liversidge et al. (1999) je studie Nyström et al. (1988), která srovnávala dentální vývoj finských dětí pocházejících ze dvou odlišných částí státu. Mezi oběma skupinami dětí byl v mineralizaci trvalého chrupu potvrzen statisticky významný rozdíl (Nyström et al., 1988).

Jednotlivé metody pro odhad věku byly navrženy na podkladě výzkumu dentálního vývoje určité populace, podle které byly vytvořeny referenční standardy. V současné době nejcitovanější metodu v odborné literatuře představuje Demirjianova metoda, navržená na základě studie dentálního vývoje francouzsko-kanadské populace z počátku 2. poloviny minulého století (Demirjian et al., 1973; Demirjian a Goldstein, 1976). Studie prováděné za účelem hodnocení spolehlivosti této metody u jiných populací potvrdily v několika případech nevhodnost použití původních referenčních standardů vzhledem k výraznému nadhodnocení věku. Rozdíly mezi skutečným a odhadovaným věkem dosahovaly v určitých věkových kategoriích až pětiletého rozdílu (např. Koshy a Tandon, 1998; Frucht et al., 2000; Eid et al., 2002; Araújo a Pontual, 2010; Kirzioglu a Ceyhan, 2012; Yan et al., 2013). Na základě výsledků těchto populačních studií a z nich vypočítaných skutečností je řadou autorů doporučeno využívat pro odhad věku populačně specifické standardy. Některé výzkumy ovšem předpokládají, že tyto populační rozdíly mohou být způsobeny sekulárními vlivy (Liversidge et al., 1999; Liversidge et al., 2006). Studie Liversidge et al. (2006) srovnávala průměrné věky dosažení určitého stádia mineralizace jednotlivých zubů u recentních populací dětí z osmi států světa (Austrálie, Belgie, Kanada, Anglie, Finsko, Francie, Jižní Korea a Švédsko). Statisticky signifikantní rozdíly se potvrdily v 65 případech z celkových 509 srovnání, což podle autorů nepředstavuje významnou interpopulační odlišnost v mineralizaci chrupu a nutnost vytvoření populačně specifických standardů.

2.3.4.3 Geneticky podmíněné choroby a další patologie

Podstatný vliv na vývoj jedince mohou mít geneticky podmíněné choroby. Z tohoto důvodu se jedinci s diagnostikovanou genetickou vadou do referenčního ani srovnávacího vzorku populace nezahrnují.

Abnormality ve vývoji dentice mohou ovlivnit počet, tvar i velikost zubů, mohou narušit strukturu tvrdých tkání (sklovinu a dentin) nebo celkový průběh vývojových procesů jako erupci zubu či jeho mineralizaci (Bloch-Zupan et al., 2011). Rozvoj v oblasti molekulární genetiky napomohl identifikovat řadu nových genů souvisejících s patogenezi různých poruch dentice. Geneticky podmíněné choroby postihující zuby lze klasifikovat na základě jejich specifity (syndromické, nonsyndromické) či podle typu dědičnosti (AD, ER, XR²), (Bailleul-Forestier et al., 2008a).

Amelogenesis imperfecta (AI) je geneticky i klinicky heterogenní choroba postihující primárně vývoj skloviny. Fenotypově se může projevovat lokálním narušením struktury skloviny nebo její kompletní absencí (Bailleul-Forestier et al., 2008a). S AI mohou být asociovány i jiné dentální poruchy – kalcifikace dřeňové dutiny, taurodontismus, opožděná erupce, kongenitální absence zubu či resorpce zubní korunky (Collins a Mauriello, 1999).

Dentinogenesis imperfecta (DGI) a dysplázie dentinu (DD) představují poruchy tvorby dentinu. Pro DGI je charakteristické modro-hnědé zabarvení zubu, který se tak může jevit jako průsvitný. Tenčí vrstva dentinu zapříčiňuje rychlé opotřebení zubu vlivem abrice (Bailleul-Forester et al., 2008a). Fenotypovým projevem této poruchy je také zkrácení a ztenčení zubního kořene nebo kompletní nevyvinutí kořene (Carroll et al., 1991). Častěji je touto poruchou postižena dočasná dentice než trvalá dentice (Bailleul-Forester et al., 2008a).

Hypodontie, oligodontie či anodontie³ představují termíny pro kongenitální absenci zubů. Metaanalýza výsledků několika studií prokázala, že prevalence ageneze trvalých zubů se různí v závislosti na pohlaví i kontinentu. V Evropě a Austrálii se ageneze vyskytuje častěji než v Severní Americe a u žen je prevalence ageneze 1,37 krát vyšší než u mužů (Polder et al., 2004). Nejčastěji ageneze postihuje třetí stoličku (Rozkovcová

² autosomálně dominantní (AD), autozomálně recesivní (AR), X chromozom vázaná dědičnost (XR)

³ hypodontie = chybění menšího počtu zubů (obvykle 1 až 6 zubů); oligodontie = chybění většího počtu zubů (obvykle více než 6 zubů); anodontie = chybění všech zubů; mikrodontie = velmi malé zuby

et al., 2004). Opožděný vývoj, hypodoncie a mikrodoncie nezřídka patří k průvodním jevům rozštěpů rtu i patra (Lai et al., 2009).

Často bývají výše zmíněné poruchy dentálního vývoje asociovány s některými syndromy. S poruchou mineralizace zubů a s výrazně opožděným vývojem je spojen například Downův syndrom (Keinan et al., 2006). Přibližně u 60 % pacientů s tímto syndromem se manifestuje hypodoncie (Kumasaka et al., 1997; Acerbi et al., 2001). Opožděné prořezávání zubů je také jedním ze symptomů Wolf-Hirschhornova syndromu (Bailleul-Forester et al., 2008b).

Další skupinou chorob asociovanou s opožděným popřípadě s urychleným vývojem dentice představují onemocnění žláz s vnitřní sekrecí, tzv. endokrinopatie (Lewis a Garn, 1960). Mezi nejčastější endokrinopatie patří hypotyreóza, při které dochází ke snížení činnosti štítné žlázy. Důsledkem je snížená produkce jejích hormonů, které jsou klíčovými regulátory celkového růstu a vývoje (Bettendorf, 2002). Ke vzácnějším poruchám endokrinní soustavy se řadí hypoparatyreóza, spojená s nedostatečnou sekrecí parathormonu z příštítných tělísek. Příznaky této poruchy jsou hypoplazie skloviny, opožděná erupce chrupu či celkové zastavení vývoje kořene (Kelly et al., 2009). Urychlení dentálního vývoje může být zapříčiněno zvýšenou činností štítné žlázy – hypertyreózou. Děti s normální funkcí štítné žlázy, které se narodily matkám s hypertyreózou se mohou narodit s již prořezanými zuby (Little et al., 2006).

2.3.4.4 Environmentální faktory

Mezi environmentální faktory ovlivňující vývoj jedince lze zařadit především typ a množství stravy, bakteriální a virové infekce, fyzickou aktivitu či socioekonomický statut (SES) jedince. SES hraje v tomto případě velmi důležitou roli, jelikož ovlivňuje nejen kvalitu a dostatek stravy, ale i přístup ke zdravotní péči a možnosti léčby (Cardoso, 2007). Environmentální faktory nepůsobí nezávisle na sobě. Jedinci z tropického podnebného pásu mohou trpět na infekce, které v chladném prostředí neexistují. Rozšíření takovéto infekce může být důsledkem nejen určitého typu podnebí ale také stravy. Strava i SES bývají mnohdy ovlivněny náboženstvím a kulturou, která může být determinována jak geografickou polohou, tak etnickou příslušností. K variabilitě navíc přispívá fakt, že geneticky vzdálené populace mohou odpovídat na stejné podmínky životního prostředí zcela odlišně (Marshall, 1981).

V rámci SES se hodnotí zaměstnání rodičů, místo bydliště či peněžní příjem rodiny (Garn et al., 1973; Cardoso, 2007). Cardoso (2007) srovnával vliv odlišného SES na dentální i kostní vývoj u portugalské populace. Výsledky studie potvrdily, že dentální vývoj je oproti kostnímu vývoji mnohem méně citlivý na rozdílné podmínky vnějšího prostředí. Nízký SES se projevil opožděním kostního vývoje o 0,63 až 1,17 roku (v závislosti na klasifikaci SES). Přibližně půlroční diskrepance v dentálním vývoji nebyla statisticky prokázána jako signifikantní ($P = 0,071$; $P = 0,085$), nicméně autor studie upozorňuje, že se jednalo o mezní hodnoty, proto nelze tvrdit, že dentální vývoj je na environmentálních faktorech zcela nezávislý (Cardoso, 2007).

Řadou studií byl prokázán vliv malnutrice na prořezávání chrupu. Triratana et al. (1990) potvrdili u dětí s nedostatečným či nevyváženým příjmem potravy opoždění erupce trvalých zubů (Triratana et al., 1990). Podobný výsledek potvrdily i další studie (např. Alvarez, 1995; Psoter et al., 2008; Gatta, 2008; Gaur a Kumar, 2012). Studie zabývající se vlivem stravy na celkový vývoj dentice (mineralizaci) tento vliv popřely. Rozdíly v dentálním vývoji u dobře živěných a podvyživených dětí nebyl signifikantní (např. Eid et al., 2002; Bagherian a Sadeghi, 2011; Elamin a Liversidge, 2013). Nicméně některé studie potvrdily urychlení dentálního vývoje u dětí s nadváhou či obezitou (Zangouei-Booshehri, 2011).

Všeobecná shoda názorů existuje ohledně vlivu stresových faktorů na strukturu skloviny. Lineární hypoplazie skloviny (LEH) představuje nespecifický indikátor systematického stresu v období vývoje jedince (Zhou a Corruccini, 1998; Temple et al., 2012; Amoroso et al., 2014). Morfologicky se LEH projevuje ve formě rýh či jamek na povrchu zubní korunky vzniklých v důsledku snížené aktivity ameloblastů při působení stresu během vývoje. Funkci ameloblastů může narušit jak podvýživa, tak infekční onemocnění, kongenitální abnormality či vážná zranění (Goodman a Rose, 1990). Z tohoto důvodu prevalence LEH u bioarcheologických nálezů slouží pro rekonstrukci životních podmínek prehistorických populací (např. Stodder, 1997; Buzon, 2006).

Dentální vývoj může negativně ovlivnit i celá řada jiných environmentálních faktorů. Narušený dentální vývoj byl potvrzen u dětí podstupující chemoterapii a ozařování (Näsman et al., 1997) nebo u jedinců, jež byli vystaveni působení značného množství dioxinu, například při explozích reaktorů v chemických továrnách (Alaluusua et al., 2004).

2.3.4.5 Sekulární trend

V rámci generační výměny může docházet ke kontinuálním změnám růstu a vývoje. Tyto změny jsou označovány jako sekulární, dlouhodobé. Rozlišit můžeme pozitivní a negativní sekulární trend. Za negativní je považován takový trend, který není ve shodě s obecným vývojem zaznamenaným za příznivých podmínek. Příkladem může být zpomalení růstu a vývoje v období válek (Šmahel, 2001). V případě pozitivního sekulárního trendu naopak dochází ke zvyšování hodnot měřených znaků (Kirzioglu a Ceyhan, 2012). Pozitivní sekulární trend byl vypořizován jak u výšky postavy (např. Simsek et al., 2005; Vignerová et al., 2006; Zong et al., 2011) tak u pohlavního vývoje (např. Ersoy a Balkan, 2005; Adali a Koç, 2011). V Evropě se v průběhu minulého století zvyšovala průměrná výška postavy o 1 cm každých 10 let (Cavelaars a Kunst, 2000). Ohledně sekulárních změn v rámci dentálního vývoje ovšem nepanuje v odborné literatuře zcela jednotný názor.

Sekulární změny v dentálním vývoji nebyly prokázány studiemi Bernhard a Glocker (1995) či Cichocka et al. (2009). Cichocka et al. (2009) porovnávali erupci trvalého chrupu u tří generací polských dětí a dospěla k závěru, že v průběhu 55 let nedošlo k signifikantnímu urychlení erupce trvalé dentice (Cichocka et al., 2009).

Řada recentních studií však pozitivní sekulární trend v dentálním vývoji prokázala (např. Cardoso et al., 2010; Jayaraman et al., 2013; Sasso et al., 2013; Vucic et al., 2014). Čínská studie Jayaraman et al. (2013) potvrdila urychlení dentálního vývoje v posledních 30 letech. Tato akcelerace však byla statisticky významná pouze u horní čelisti (Jayaraman et al., 2013). Studie Vucic et al. (2014) analyzovala změny ve vývoji dentice u nizozemských dětí v průběhu 40 let. Děti narozené na počátku 21. století dosáhly stejného stádia vývoje průměrně o 1,5 roku dříve než děti narozené o 40 let dříve (Vucic et al., 2014). Podobný pozitivní trend byl pozorován také v chorvatské studii, ve které byly děti narozené o 30 let později dentálně uspíšeny průměrně o 0,72 roku, přičemž výraznější urychlení vykazovaly dívky (Sasso et al., 2013). Cardoso et al. (2010) srovnával vývoj zubního kořene současné portugalské populace s jedinci narozenými o půl století dříve. Recentní populace dosáhla dentální zralosti (konečného stádia kořene) v průměru o 1,22 roku (chlapci) a 1,47 roku (dívky) dříve než děti narozené v polovině minulého století. Délka procesu tvorby kořene se však nezměnila (Cardoso et al., 2010).

S ohledem na potvrzení vlivu sekulárního trendu na dentální vývoj je částečně možné vysvětlit, jak již bylo dříve předesláno, nevhodnost některých populačně

specifických standardů pro hodnocení dentálního věku u jiných populací (Liversidge et al., 1999; Liversidge et al., 2006).

2.4 Metody hodnocení vývoje dentice pro odhad věku

V úvodních kapitolách již bylo zmíněno, že vývoj chrupu lze hodnotit na základě dvou hledisek – erupce a mineralizace. Metody odhadu věku založené na hodnocení těchto procesů lze aplikovat pouze u jedinců s nedokončeným dentálním vývojem, tedy přibližně do 20. roku života, kdy ukončuje svůj vývoj třetí stolička (Liversidge, 2008; Suma et al., 2011). U starších jedinců je nutné zaměřit hodnocení na degenerativní změny chrupu spojené s narůstajícím věkem (Gustafson, 1950; Lovejoy, 1985; Cameriere et al., 2004).

Metody pro odhad věku na základě dentice můžeme rozdělit do tří kategorií: metody radiografické, metody biochemické a metody histologické (Acharya a Kumar, 2011).

Radiografické metody se používají především u stále se vyvíjející dentice, kde lze snadno vizualizovat a následně zhodnotit stádia mineralizace a erupce zubů (Moorrees et al., 1963). S využitím radiografických metod se můžeme setkat i při odhadu věku dospělých osob, nicméně v tomto případě nedosahují tak přesného výsledku, jako je tomu u metod biochemických a histologických (Kagerer a Grupe, 2001). Nově se pro snímání chrupu a odhad věku může využít také počítačová tomografie (CT), (Graham et al., 2010) či magnetická rezonanční tomografie (MRI), (Ottow et al., 2015). Oba přístupy na rozdíl od radiografie nevyžadují výraznější manipulaci s hlavou ani umístění snímacího aparátu do úst. V případě MRI navíc není jedinec vystaven rentgenovému záření.

Biochemické metody se využívají u extrahovaných zubů či v případě zachovalé dentice kosterního nálezu. Nejpoužívanější biochemická metoda je založená na principu racemizace kyseliny asparagové (např. Ohtani, 1995; Arany et al., 2004; Griffin et al., 2009). Další metoda pracuje s radioizotopem uhlíku C^{14} ve sklovině (Kirsty a Bruce, 2005).

Histologické metody se stejně jako metody biochemické aplikují u lidských dentálních pozůstatků či zubů po extrakci. Pomocí histologických řezů lze například hodnotit množství uloženého sekundárního dentinu (Gustafson, 1950) či spočítat vrstvy zubního cementu (Wittwer-Backofen et al., 2004).

Velkou nevýhodou posledních dvou kategorií metod je nejen nutnost extrakce zubu, ale následné destruktivní zacházení se zubní tkání. Radiografické metody extrakci zubu

nevyžadují, jsou jednoduché a oproti metodám biochemickým a histologickým většinou méně nákladné (Panchbhai, 2011).

Nejvyužívanější metody jsou obvykle postaveny na subjektivním hodnocení stádia vývoje (Demirjian et al., 1973, Moorrees et al., 1963). Alternativním přístupem může být ovšem i měření vyvíjejícího se zubu, které je objektivnější (Cameriere et al., 2006).

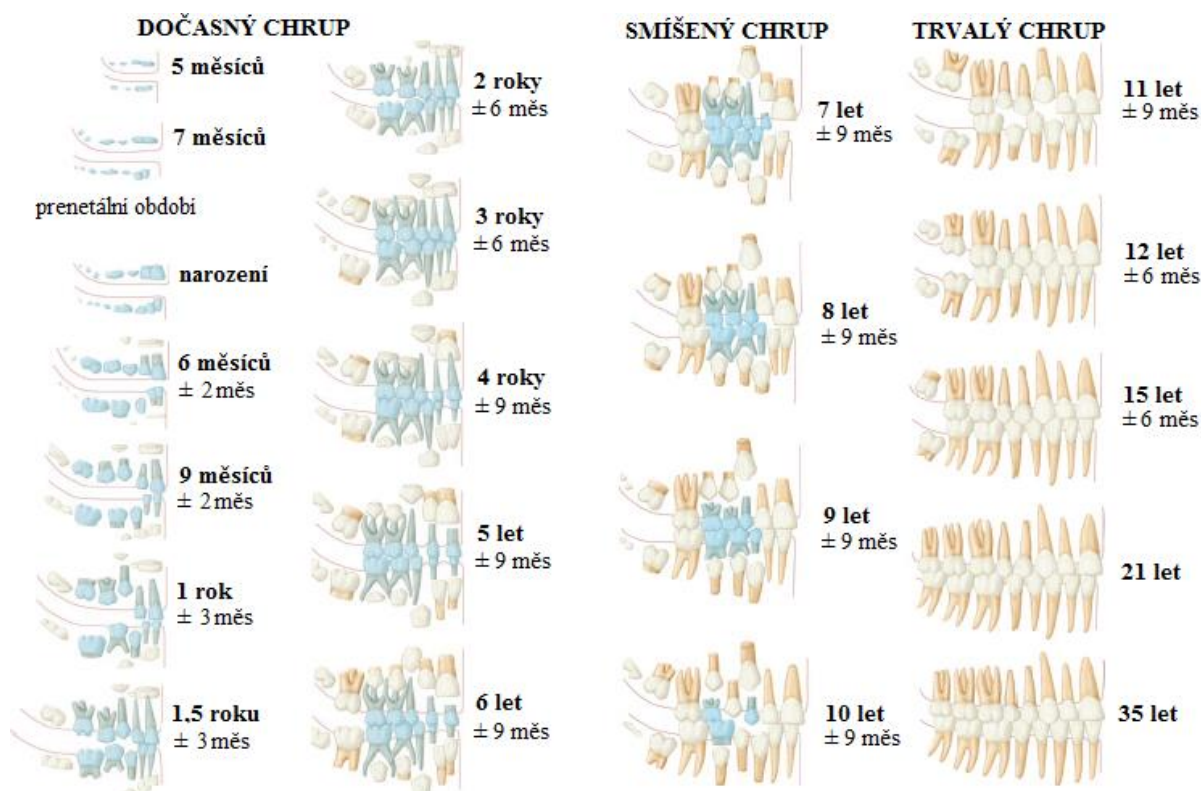
Jednotlivé metody se mohou lišit nejen přístupem hodnocení dentice, ale také způsobem zpracování naměřených dat a interpretací výsledků. Výstupy metod mohou být prezentovány ve formě ilustrovaných klasifikačních schémat (Moorrees et al., 1963, Ubelaker, 1989), grafů (Gustafson a Koch, 1974), skórovacích tabulek (Nolla, 1960; Demirjian et al., 1973) či regresních rovnic (Cameriere et al., 2006). Samostatnou kategorií pro zpracování dat představují takzvané dataminingové metody, které umožňují objevit či zpřesnit dosud neznámé závislosti v datových souborech, a mohou tak poskytnout predikci věku. Ačkoli je nevýhodou těchto metod jejich mnohdy složitá interpretace, mohou na rozdíl od statistických přístupů vést k přesnějším výsledkům odhadu věku (Veleminska et al., 2013).

Na základě výsledků studií zabývajících se odhadem věku bylo prokázáno, že přesnost odhadu věku klesá s rostoucím věkem jedince (Whittaker, 1995; Veleminska et al., 2013). Vysvětlením může být skutečnost, že vývoj a růst chrupu je v nižším věku regulovanější a synchronizovanější než jsou involuční procesy u stárnoucího jedince (Babshet et al., 2010). Dalším důvodem je fakt, že v nižším věku se odehrávají kratší vývojové události a lze je tak lépe zaznamenat (Bolaños et al., 2000).

2.4.1 Metody hodnocení mineralizace chrupu u dětí a juvenilních jedinců

V současné době nejpoužívanější metody pro stanovení dentálního věku u dětí a juvenilních jedinců jsou založeny na hodnocení stádia mineralizace zubní korunky a kořene (např. Demirjian et al., 1973; Moorrees et al., 1963; Cameriere et al., 2006). Hodnocení vývoje dentice na základě erupce (např. Singh et al., 2004; Olze et al., 2007) se z důvodů, jež byly uvedeny v předešlých kapitolách, používá porovnatelně méně. Některé metody oba přístupy hodnocení dentice kombinují (např. Ubelaker, 1978; Gustafson a Koch, 1974). Metody se liší nejen počtem jednotlivých vývojových stádií, typem i počtem zubů, ale také věkovým rozpětím jedinců, u kterých lze odhad provést.

Schour a Massler (1941) vytvořili pro dočasné i trvalé zuby horní i dolní poloviny čelisti celkem 21 schémat (viz Obr. 2). Tato schémata ilustrují stádia mineralizace a erupce jednotlivých zubů od 5. nitroděložního měsíce do dospělosti (Schour a Massler, 1941). O několik let později byla provedena modifikace tohoto schématu Ubelakerem (1978). Modifikace spočívala především k vytvoření pohlavně specifických schémat a odebrání určitých stádií vývoje i přidání zcela nových (Ubelaker, 1978).

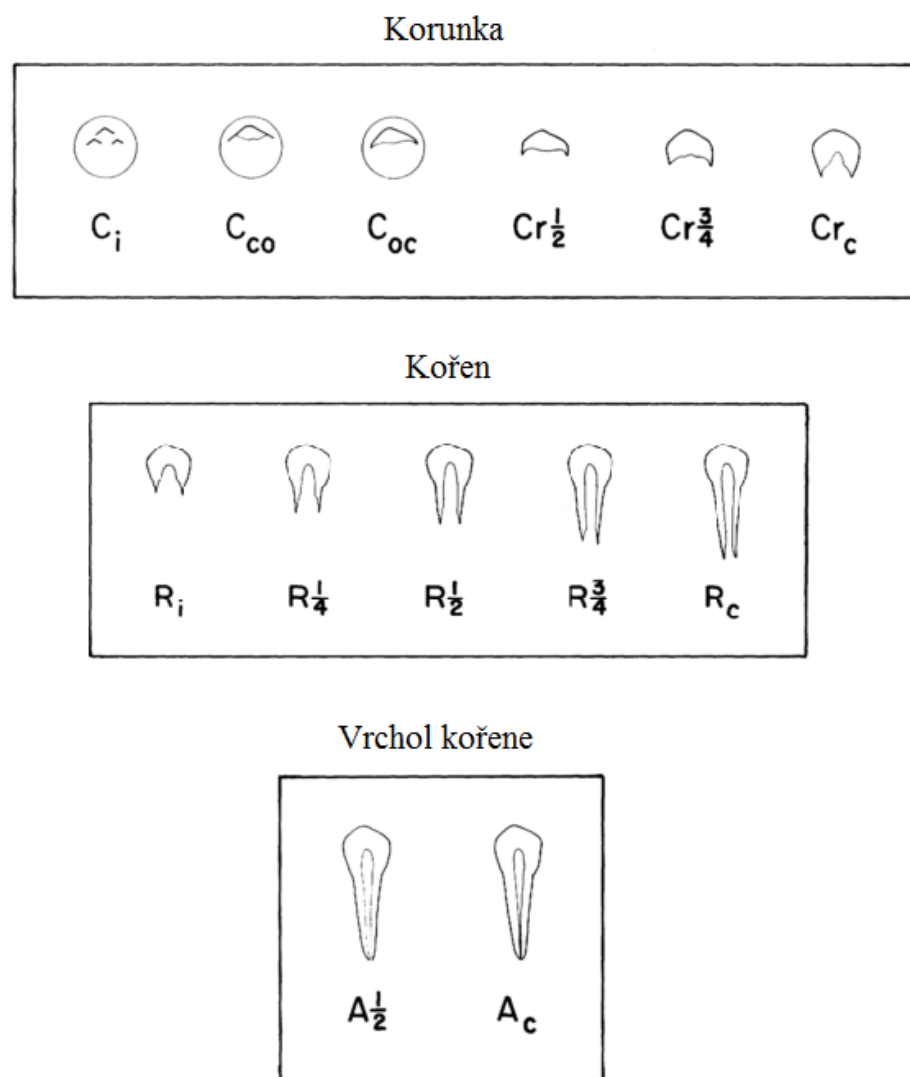


Obr. 2. Schéma dentálního vývoje upraveno podle Schour a Massler (1941); dočasné zuby značeny modře (upraveno podle Nelson a Ash, 2010).

Nolla (1960) navrhla schéma mineralizace trvalé dentice dolní i horní čelisti. Schéma ilustruje 10 stádií vývoje pro jednotlivé typy zubů. Zuby jsou podle stádia vývoje ohodnoceny na číselné stupnici 1 až 10 a součet všech hodnocených zubů převeden pomocí tabulky do hodnot věku. Pro odhad věku je nutné mít k dispozici všechny zuby (Nolla, 1960).

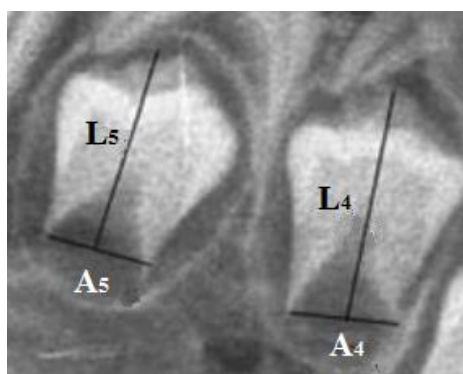
Gustafson a Koch (1974) vytvořili diagram znázorňující vývoj dočasné i trvalé dentice do 16. roku života. Vývoj každého zubu (s výjimkou M_3) rozdělili do čtyř stádií: počátek kalcifikace, dokončení vývoje korunky, erupce zubu a dokončení vývoje kořene. Věk dosažení daného stádia je vyjádřen pro každý zub zvlášť (Gustafson a Koch, 1974).

Moorrees, Fanning a Hunt (proto MFH-metoda) navrhli ve své studii (1963) schéma vývoje jednokořenových a vícekořenových trvalých zubů. Schéma rozděluje vývoj zubu do 3 hlavních stádií: stádía korunky, kořene a kořenového vrcholu. Tato hlavní stádía jsou dále rozdělena do několika podstádií (viz Obr. 3). V případě jednokořenových zubů je vývoj rozdělen do 13 podstádií, u vícekořenových zubů je 1 podstádium přidáno. Postupný vývoj jednotlivých zubů je zanesen do grafu, ze kterého je možné odečíst průměrný věk se směrodatnou odchylkou (Moorrees et al., 1963). Modifikaci původní metody provedl Smith (1991), který místo nepřiliš praktického grafu vytvořil tabulku s průměrným věkem pro jednotlivá stádía každého zubu. Po ohodnocení všech zubů se ze všech hodnot vypočítá průměr, který udává dentální věk jedince (Smith, 1991).



Obr. 3. Stádía a podstádía vývoje jednokořenových zubů (upraveno podle Moorrees et al., 1963).

Cameriere et al. (2006) potvrdil korelaci věku s velikostí neuzavřených kořenových vrcholů a na základě studie italské populace vytvořil lineární regresní rovnici pro účely odhadu věku (Cameriere et al., 2006). Metoda vyžaduje 7 trvalých zubů z levé strany dolní čelisti. U zubů s neuzavřeným kořenovým vrcholem se změří vzdálenost mezi vnitřními stěnami otevřeného apikálního konce kořene (viz Obr. 4), přičemž u dvoukořenových zubů se vypočítá součet obou vzdáleností. Pro normalizaci jednotlivých vzdáleností se naměřené hodnoty vydělí celkovou délkou zubu a součet všech znormalizovaných hodnot se dosadí do lineární regresní rovnice (Cameriere et al., 2006).



Obr. 4. Příklad měření kořenových vrcholů; A_x = vzdálenosti mezi vnitřními stěnami vrcholů kořene; L_x = délka zubu (upraveno podle Cameriere a kol., 2006).

Demirjian et al. (1973) navrhl hodnocení mineralizace na základě 8 vývojových stádií u 7 trvalých zubů levého kvadrantu dolní čelisti. Každému vývojovému stádiu příslušného zubu je přiděleno číselné skóre. Součet skóre všech 7 hodnocených zubů udává celkovou dentální zralost, která může nabývat hodnoty od 0 po 100. Celková dentální zralost je poté konvertována pomocí tabulek či percentilových grafů do hodnot dentálního věku (Demirjian et al., 1973). Podrobnější popis metody bude uveden v kapitole Metody.

Odhadem dentálního věku a tvorbou vývojových schémat se zabývali také tuzemští vědci (např. Komínek a Rozkovcová; Blajerová, 1970; Vlček, 1994). Komínek a Rozkovcová (1984) definovali 7 stádií vývoje trvalého zubu (stádiem zubního váčku počínaje a konvergencí stěn kořenového kanálu konče). U dočasných zubů zároveň definovali stupeň resorpce kořene (Komínek a Rozkovcová, 1984).

Výhodou nízkého počtu stádií pro hodnocení mineralizace zubu je porovnatelně nižší inter/intraobservační chyba. Oproti tomu vyšší počet stádií, ačkoliv vykazuje vyšší observační chybu, může poskytnout přesnější odhad věku (Maber et al., 2006).

Požadavky jednotlivých metod na počet a typ zubů nutných pro odhad věku jedince úzce souvisí s jejich využitím v praxi. U bioarcheologických nálezů se často setkáváme pouze s fragmentárním dentálním nálezem. V tomto případě je zapotřebí aplikovat metodu, jež není limitována absencí některého ze zubů. Neméně důležitá je také časová, finanční a materiální náročnost metody. V případě schématu dentálního vývoje podle Schoura a Masllera (1941), později modifikovaného Ubelakerem (1978), lze věk odhadnout velmi snadno a rychle. Velká časová náročnost metody představuje nevýhodu především v případech masových katastrof jako tsunami či zemětřesení, kdy je nutné odhadnout věk co nejrychleji. Nevýhodou těchto „rychlých“ metod je ovšem skutečnost, že nepodávají tak přesné výsledky odhadu (Blenkin a Taylor, 2012). V současné době patří k nejpoužívanějším metodám pro odhad věku ve forenzních i klinické praxi Demirjianova metoda (Flood et al., 2013). Chybějící zub levé strany dolní čelisti lze podle samotných autorů nahradit zubem z opačné strany dolní čelisti (Demirjian et al., 1973). Později byla rovněž navržena modifikace metody s redukováným počtem zubů (Demirjian a Golstein, 1976). Jeden z důvodů širokého uplatnění metody je vysoká míra reprodukovatelnosti a opakovatelnosti (Urzel a Bruzek, 2013; Cruz-Landeira et al., 2010). Další nespornou výhodou metody je fakt, že jsou jednotlivá stádia v publikaci podrobně popsána a jejich popis je doplněn fotografiemi i schématickou ilustrací.

2.4.2 Demirjianova metoda a její modifikace

Demirjianova metoda byla poprvé publikována v rámci studie vývoje dentice francouzsko-kanadských jedinců ve věku od 2 do 20 let (Demirjian et al., 1973). Jednalo se o 1446 chlapců a 1482 dívek z kanadského Montrealu, jejichž rodiče či prarodiče měli francouzský původ (Demirjian et al., 1973). V roce 1976 byla metoda zrevidována. Díky navýšení počtu jedinců ve studovaném souboru byla přidána další dvě nová stádia, která nemohla být stanovena v předešlé studii z důvodu nízkého počtu jedinců v mladších věkových kategoriích (Demirjian a Goldstein., 1976). Na základě této studie vznikly nové standardy a převodní tabulky pro odhad věku.

Metoda byla testována u skupin s rozdílným původem a populační příslušností, například u populace indické (Prabhakar et al., 2002), arabské (Al-Emran, 2008), turecké (Miloglu a kol., 2011; Celik et al., 2014), íránské (Bagherian a Sadeghu, 2011); francouzské (Urzel a Bruzek, 2013), kanadské (Gilbert et al., 2014) a mnoho dalších.

Všechny tyto studií prokázaly signifikantní nadhodnocení věku při použití původních standardů. Z tohoto důvodu dochází k častým modifikacím původního skórovacího systému navrženého Demirjianem a vznikají tzv. adaptovaná skórovací schémata, která jsou populačně specifická a použitím těchto nových standardů dochází ke zvýšení přesnosti odhadu (např. Willems et al., 2001; Al-Emran, 2008, Gilbert et al., 2014).

Jednu z nejznámějších modifikací provedl Chaillet et al. (2005), kteří vytvořili pro případy neznámého původu jedince multietnické dentální skóre. Hodnoty byly získány na základě studie necelých 10 000 jedinců z 8 zemí světa (Chaillet et al., 2005). Další modifikaci metody provedl Chaillet a Demirjian (2004), když do vývojového schématu zařadili třetí stoličku, čímž se rozšířilo věkové rozpětí pro odhad věku. Zároveň došlo k rozšíření počtu vývojových stádií a změně jejich písmenného označení (A-H) na číselné (0-9), (Chaillet a Demirjian, 2004). Modifikaci ve formě nového adaptačního skóre provedli Willems et al. (2001). Na základě studie belgických dětí vytvořil nové tabulky s populačně specifickými hodnotami a všeobecné skóre zralosti vyjádřil přímo v letech (Willems et al., 2001).

Mnoho studií analyzovalo spolehlivost jednotlivých metod či jejich modifikací (např. Urzel a Bruzek, 2013; Cameriere et al., 2008, Maber et al., 2006). Maber et al. (2006) srovnával mezi sebou 4 metody – Haavikko (1970), Demirjian et al. (1973), Nolla (1960) a Willems et al. (2001). Nejpřesnější výsledky vykazovala modifikovaná Demirjianova metoda podle Willems et al. (2001). Původní Demirjianova metoda dentální věk signifikantně nadhodnocovala, u zbylých dvou metod byl dentální věk naopak podhodnocen (Maber et al., 2006). Urzel a Bruzek (2013) srovnávali původní Demirjianovu metodu a její modifikace (Willems et al., 2001; Willems et al., 2010, Chaillet et al., 2005) na recentní francouzské populaci. Demirjianova metoda potvrdila konzistentní nadhodnocení dentálního věku ve všech věkových kategoriích. Mnohem přesnějšího odhadu bylo dosaženo při použití modifikovaných metod (Urzel a Bruzek, 2013).

2.5 Data mining – neuronové sítě

Data mining představuje jeden z prostředků tzv. dobývání znalostí z databází, z angl. Knowledge Discovery in Databases (Fayyad et al., 1996). Pomocí data miningu lze identifikovat dosud neznámé, potenciálně užitečné a zcela srozumitelné vzory v datech, které nebyly zjištěny klasickými statistickými metodami (Fayyad et al., 1996; Coppa et al., 2007). Primární funkcí data miningu je predikce a deskripce dat (Paliwal a Kumar, 2009). Predikce umožňuje odhadnout neznámé či budoucí proměnné na základě nalezených vzorů ve vstupních datech a deskripce umožňuje tyto nalezené vzory popsat (Fayyad et al., 1996).

Existuje celá řada data miningových metod. Jednou z nich je metoda umělých neuronových sítí (zkr. ANN, z angl. artificial neural network), jejímž principem je snaha napodobit schopnost neuronu zpracovávat informace a učit se (Fayyad et al., 1996). Neuronové sítě nacházejí využití v mnoha oborech, především pak v oborech komerčních. Uplatňují se například pro predikci schopnosti klienta splácet půjčky (Malhotra a Malhotra, 2003) či pro analýzu nebezpečí krachu bank a firem (Boyacioglu et al., 2009). Neuronové sítě se využívají také v letecké dopravě pro odhad počtu prodaných letenek. Predikce následně slouží jako vodítko při navrhování rozložení jednotlivých letů (Weatherford et al., 2002). Neuronové sítě se uplatňují i v biologických a lékařských oborech. ANN se ukázaly být velmi dobrým doplňkem diagnostických technik, jelikož umožňují klinickým lékařům predikovat riziko zdravotních poruch, průběh i výsledky léčby (Baxt, 1995; Bottaci et al., 1997). Ve stomatologii a ortodoncii se metoda neuronových sítí používá například pro odhad velikosti neprořezaných zubů trvalého chrupu (Moghimi et al., 2012) či predikci zubního kazu (Devito et al., 2008).

Doposud se odhadem dentálního věku pomocí neuronových sítí zabývala jediná studie. Studie Velemínska et al. (2013) porovnávala standardní statistické přístupy s data miningovými metodami, včetně metody ANN. Metoda ANN vykazovala v porovnání s ostatními metodami nejpřesnější odhad věku (Velemínska et al., 2013).

Výhodou metod neuronových sítí oproti klasickým statistickým metodám je, že jsou schopné nalézt nelineární vztah mezi vstupními a výstupními daty. Nevýhodou je však jejich mnohdy složitá interpretace (Fayyad et al., 1996, Velemínska et al., 2013).

3. Hypotézy a cíle práce

Diplomová práce je zaměřena na hodnocení mineralizace trvalého chrupu u recentní české a francouzské populace podle kritérií ve studii navržených Demirjian et al. (1973).

Na základě dosavadních výsledků studií zabývajících se problematikou odhadu věku pomocí dentice jsme si stanovily tyto hypotézy a cíle práce:

Hypotézy práce:

1. Pro odhad věku je z důvodu statisticky významných mezipopulačních rozdílů nutné používat populačně specifické standardy.
2. Metoda Demirjian et al. (1976) věk nadhodnotí u obou evropských populací.
3. Metoda Willems et al. (2001) sníží chybu odhadu u obou evropských populací (1976).
4. Metoda neuronových sítí bude vykazovat nejpřesnější odhad věku ze všech tří testovaných metod.

Cíle práce:

1. Odhad dentálního věku u dvou recentních evropských populací pomocí metody Demirjian et al. (1976) a Willems et al. (2001).
2. Stanovení přesnosti odhadu věku pomocí metody neuronových sítí.
3. Srovnání vývoje trvalé dentice u obou populací.
4. Zhodnocení pohlavního dimorfismu v dentálním vývoji u obou populací.

4. Materiál

V této diplomové práci jsou hodnoceny náhodně vybrané panoramatické rentgenové (RTG) snímky chrupu 361 českých dívek a 355 českých chlapců narozených mezi lety 1980 až 2001. RTG byly pořizovány v rozmezí let 1990 až 2007 v rámci preventivních zubních prohlídek a pocházejí ze Stomatologické kliniky FN Královské Vinohrady a Všeobecné FN v Praze.

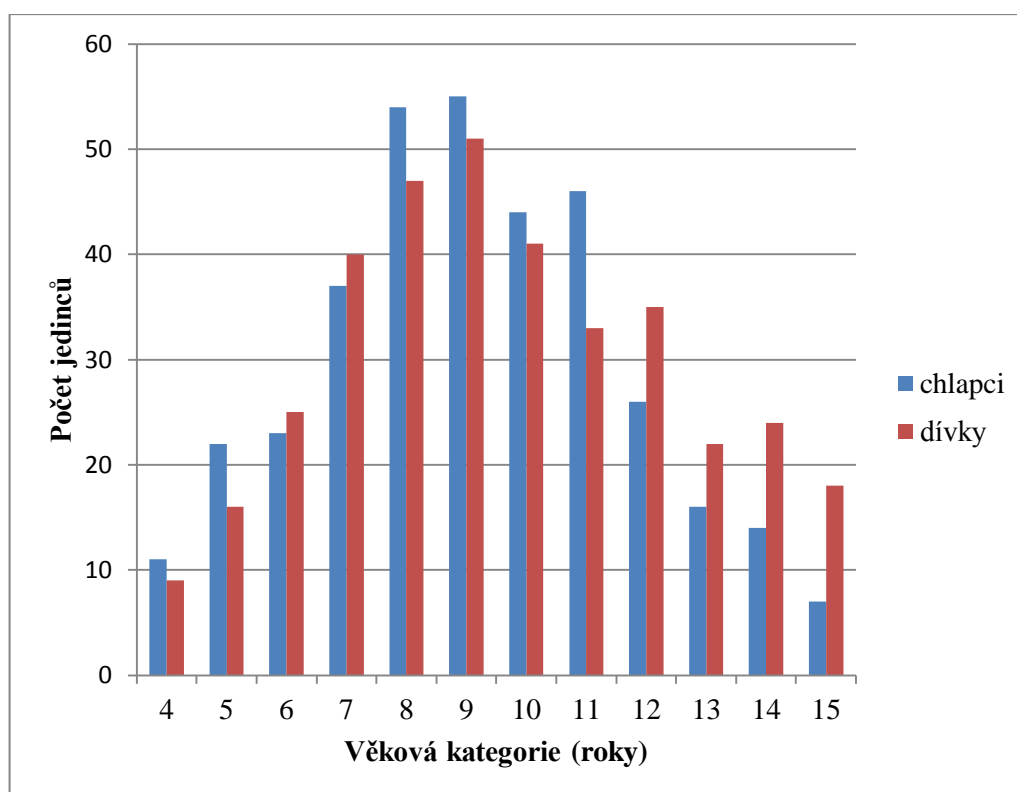
Četnost souboru byla původně vyšší. Zařazení jedince do testovaného souboru podléhalo několika kritériím. Z výběru byli vyřazeni jedinci s ortodontickou vadou (např. absence zubu, taurodontismus), s výraznou retardací dentálního vývoje či se systémovým onemocněním. Dále nebyli do testovaného souboru zařazeni jedinci starší 16 let a jedinci jiné etnické či národnostní příslušnosti než české. Špatná kvalita RTG snímku znemožňující vyhodnocení mineralizace chrupu indikovala taktéž k vyřazení. Celkem bylo pro nesplnění výše zmíněných kritérií vyřazeno 129 jedinců.

Jako srovnávací materiál sloužil datový soubor obsahující hodnocení mineralizace chrupu pomocí Demirjianových kritérií u 357 francouzských chlapců a 386 francouzských dívek narozených mezi lety 1987 až 2004. RTG snímky byly pořizovány v letech 2001 až 2010 v rámci rutinní zubní prohlídky v lékařském středisku v Bordeaux (Centre Hospitalier Universitaire de Bordeaux) a v rámci soukromé zubní praxe ve Floirac a Mont-de-Marsan ve Francii. Hodnocení RTG snímků francouzských dětí provedla Vanessa Urzel, D.D.S., MSc. z Université de Bordeaux. Jedná se o jedince zařazené do studie Urzel a Bruzek (2013). Do souboru byli zařazeni pouze ti jedinci, kteří splňovali výše zmíněná kritéria.

Věkové rozmezí souboru českých i francouzských dětí je 4,00 až 15,99 let. Jedinci jsou rozděleni do 12 věkových kategorií s intervalem 1 rok, přičemž 4. věková kategorie zahrnuje jedince ve věku 4,00 až 4,99 a totéž platí analogicky u zbylých věkových skupin. Početní zastoupení jedinců a jejich průměrný věk se směrodatnou odchylkou v jednotlivých věkových kategoriích jsou uvedeny v tabulce 1 pro českou populaci a v tabulce 2 pro francouzskou populaci. Pro větší přehlednost a pro srovnání je početní zastoupení jedinců znázorněno také graficky v grafu 1 pro českou populaci a v grafu 2 pro francouzskou populaci.

Tab. 1. Počet jedinců (N) a průměrný věk se směrodatnou odchylkou (SD) v jednotlivých věkových kategoriích – český soubor

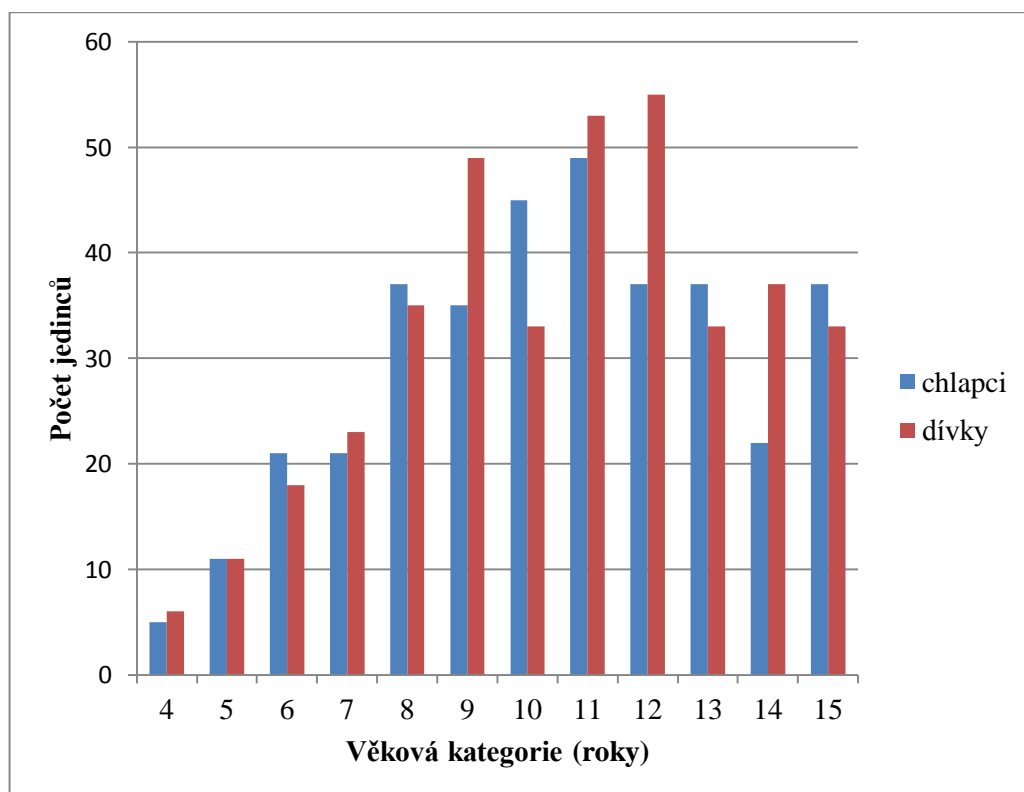
věková kategorie (roky)	chlapci			dívky		
	N	průměrný věk	(\pm SD)	N	průměrný věk	(\pm SD)
4	11	4,63	(\pm 0,11)	9	4,61	(\pm 0,34)
5	22	5,57	(\pm 0,27)	16	5,51	(\pm 0,33)
6	23	6,42	(\pm 0,31)	25	6,57	(\pm 0,31)
7	37	7,59	(\pm 0,31)	40	7,51	(\pm 0,29)
8	54	8,49	(\pm 0,31)	47	8,46	(\pm 0,28)
9	55	9,49	(\pm 0,29)	51	9,56	(\pm 0,28)
10	44	10,53	(\pm 0,28)	41	10,48	(\pm 0,27)
11	46	11,52	(\pm 0,29)	33	11,49	(\pm 0,30)
12	26	12,61	(\pm 0,30)	35	12,40	(\pm 0,29)
13	16	13,49	(\pm 0,36)	22	13,41	(\pm 0,30)
14	14	14,58	(\pm 0,29)	24	14,50	(\pm 0,30)
15	7	15,53	(\pm 0,27)	18	15,58	(\pm 0,26)
celkem	355	9,67	(\pm2,60)	361	10,10	(\pm2,81)



Graf 1. Sloupcový graf pro početní zastoupení českých dívek a chlapců.

Tab. 2. Počet jedinců (N) a průměrný věk se směrodatnou odchylkou (SD) v jednotlivých věkových kategoriích – francouzský soubor

věková kategorie (roky)	chlapci			dívky		
	N	průměrný věk	(±SD)	N	průměrný věk	(±SD)
4	5	4,68	(± 0,29)	6	4,65	(± 0,17)
5	11	5,60	(± 0,33)	11	5,62	(± 0,32)
6	21	6,41	(± 0,29)	18	6,48	(± 0,30)
7	21	7,68	(± 0,25)	23	7,46	(± 0,27)
8	37	8,53	(± 0,29)	35	8,56	(± 0,29)
9	35	9,51	(± 0,32)	49	9,48	(± 0,30)
10	45	10,45	(± 0,31)	33	10,51	(± 0,27)
11	49	11,45	(± 0,28)	53	11,47	(± 0,28)
12	37	12,43	(± 0,31)	55	12,46	(± 0,28)
13	37	13,47	(± 0,32)	33	13,45	(± 0,29)
14	22	14,54	(± 0,28)	37	14,43	(± 0,30)
15	37	15,47	(± 0,29)	33	15,47	(± 0,28)
celkem	357	10,95	(± 2,84)	386	11,06	(± 2,79)

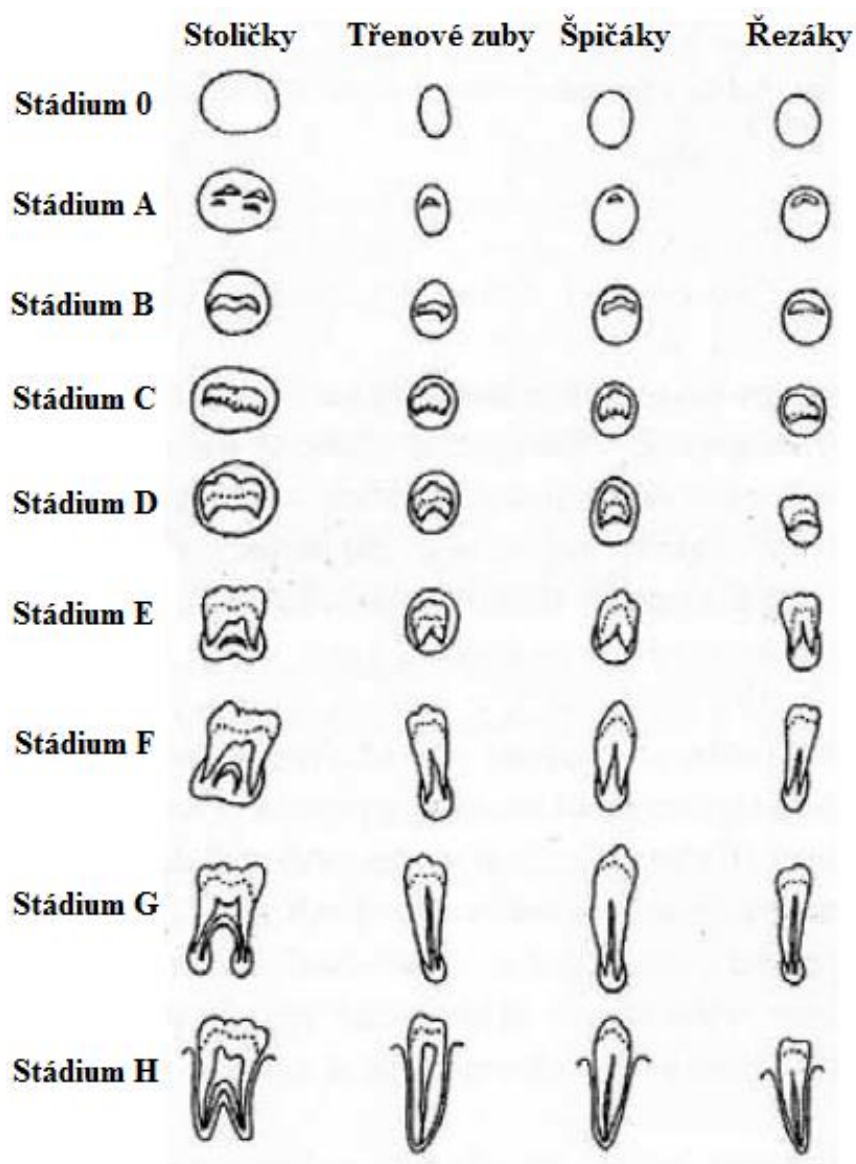


Graf 2. Sloupcový graf pro početní zastoupení francouzských dívek a chlapců.

5. Metodologie

5.1 Hodnocení mineralizace trvalého chrupu

Pro hodnocení mineralizace trvalého chrupu české i francouzské populace byla použita metoda navržená ve studii Demirjian et al. (1973). Metoda spočívá v hodnocení 8 vývojových stádií u 7 trvalých zubů levé poloviny dolní čelisti (I₁, I₂, C, P₁, P₂, M₁, M₂). Stádia jsou označena písmeny od A do H, přičemž první stádium představuje počátek mineralizace korunky, poslední stádium koresponduje s uzavřením kořenového kanálu (viz Obr. 5). V případě, že mineralizace ještě neprobíhá, je zub ve stádiu 0 (tzv. stádium krypty), toto stádium se do hodnocení nezahrnuje.



Obr. 5: Schéma 8 vývojových stádií (upraveno podle Demirjian et al., 1973).

Každé vývojové stádium je definováno jedním, dvěma či třemi kritérii (viz Tab. 3). V případě stádia se dvěma kritérii je toto stádium uznáno, pokud splňuje alespoň první kritérium. Pro uznání stádia se třemi kritérii je nutné splnit minimálně první dvě kritéria. V hraničních případech je uznáno stádium nižší.

Tab. 3. Popis jednotlivých stádií podle Demirjian et al. (1973)

Stádium	Popis stádií
A	V místech budoucí korunky zubu se objevují první mineralizované okrsky ve tvaru obráceného kužele, mineralizované okrsky zůstávají samostatné.
B	Spojení mineralizovaných oblastí a vznik souvislého okluzního povrchu zubu.
C	a Na okluzním povrchu vytvořena sklovina. Viditelné rozšíření a konvergence skloviny směrem ke krčku zubu.
	b Počátek ukládání dentinu.
	c Obrys dřeňové dutiny na okluzní hranici má zakřivený tvar.
D	a Korunka vytvořena až k cemento-sklovinnému spojení.
	b U jednokořenových zubů horní hranice dřeňové dutiny má jasně zakřivený tvar, vyklenutý směrem ke krčku. Rohy dřeňové dutiny utvářejí tvar deštníku. U vícekořenových zubů má dřeňová dutina trapézovitý tvar.
	c Počátek tvorby kořene.
E	Jednokořenové zuby
	a Stěny dřeňové dutiny jsou rovné, jejich kontinuita je narušena přítomností dřeňových rohů, které jsou větší než v předchozím stádiu.
	b Délka kořene je menší než délka korunky.
	Vícekořenové zuby
	a Náznak kořenové bifurkace ve formě kalcifikovaného bodu či okrsku poloměsíčitého tvaru.
	b Délka kořene je menší než délka korunky.
F	Jednokořenové zuby
	a Stěny dřeňové dutiny tvoří rovnoramenný trojúhelní. Vrchol kořene končí v nálevkovitém tvaru.
	b Délka kořene je stejná nebo větší než délka korunky.
	Vícekořenové zuby
	a Bifurkace kořene se prodlužuje, jsou rozpoznatelné dva kořeny. Jejich vrcholy končí v nálevkovitém tvaru.
	b Délka kořene je stejná nebo větší než délka korunky.
G	Stěny kořenového kanálu jsou paralelní. Kořenový vrchol dosud neuzavřen.
H	a Kořenový vrchol již uzavřen.
	b Periodontální membrána kolem kořene a jeho vrcholu má jednotnou šířku.

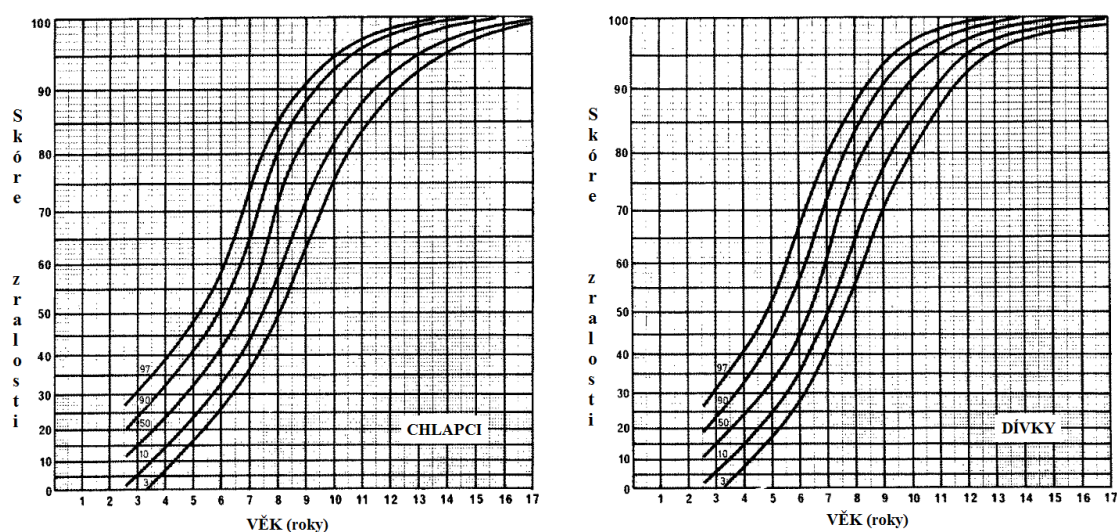
Každému vývojovému stádiu příslušného zubu je přiděleno vážené skóre, které je odečteno z převodních tabulek (viz Tab. 4). V této práci byly použity převodní tabulky ze studie Demirjian a Goldstein (1976), které představují zrevidovanou verzi původních tabulek ze studie Demirjian et al. (1973). Tyto tabulky byly vytvořeny na základě většího souboru jedinců a díky vyššímu zastoupení v mladších věkových kategoriích mohla být přidána dvě nová stadia.

Skóre všech 7 zubů se sečte a získá se celkové skóre zralosti, které nabývá hodnot od 0 do 100. Celkové skóre zralosti je následně pomocí percentilových grafů (viz Obr. 6) konvertováno do hodnot dentálního věku. Pro odečtení dentálního věku byl použit 50. percentil.

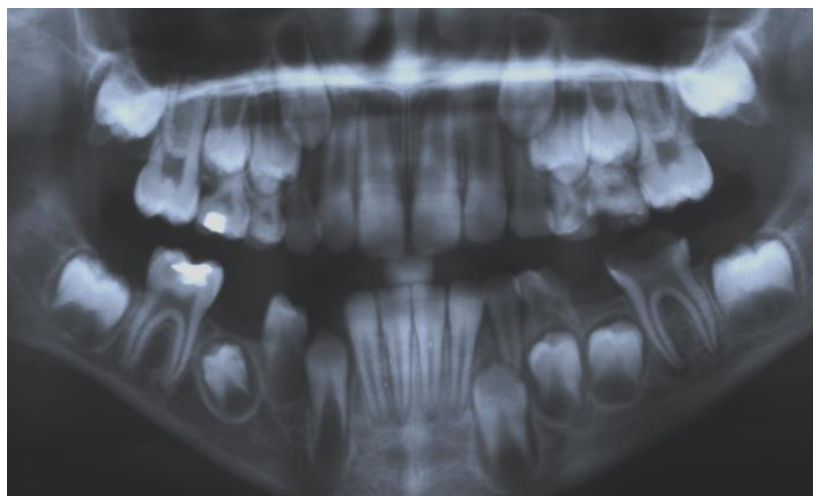
Tab. 4. Vážená skóre pro vývojová stadia 7 trvalých zubů levé poloviny dolní čelisti (upraveno podle Demirjian a Goldstein, 1976)

Chlapci										Dívky									
Zub	Stádium									Zub	Stádium								
	0	A	B	C	D	E	F	G	H		0	A	B	C	D	E	F	G	H
M ₂	0,0	1,7	3,1	5,4	8,6	11,4	12,4	12,8	13,6	M ₂	0,0	1,8	3,1	5,4	9,0	11,7	12,8	13,2	13,8
M ₁				0,0	5,3	7,5	10,3	13,9	16,8	M ₁				0,0	3,5	5,6	8,4	12,5	15,4
P ₂	0,0	1,5	2,7	5,2	8,0	10,8	12,0	12,5	13,2	P ₂	0,0	1,7	2,9	5,4	8,6	11,1	12,3	12,8	13,3
P ₁		0,0	4,0	6,3	9,4	13,2	14,9	15,5	16,1	P ₁		0,0	3,1	5,2	8,8	12,6	14,3	14,9	15,5
C				0,0	4,0	7,8	10,1	11,4	12,0	C				0,0	3,7	7,3	10	11,8	12,5
I ₂				0,0	2,8	5,4	7,7	10,5	13,2	I ₂				0,0	2,8	5,3	8,1	11,2	13,8
I ₁				0,0	4,3	6,3	8,2	11,2	15,1	I ₁				0,0	4,4	6,3	8,5	12,0	15,8

Obr. 6: Percentilové grafy pro odečtení dentálního věku (upraveno podle Demirjian a Goldstein, 1976).



Pro větší názornost zařazují ukázkou hodnocení RTG snímku chlapce na základě kritérií výše popsané metody (viz Obr. 7, Tab. 5).



Obr. 7. RTG snímek chlapce.

Tab. 5. Ukázka vyhodnocení RTG snímku chlapce

	typ zubu							celkové dentální skóre	dentální věk (roky)
	I ₁	I ₂	C	P ₁	P ₂	M ₁	M ₂		
stádium	G	G	F	E	E	G	E	81,1	8,8
dentální skóre	11,2	10,5	10,1	13,2	10,8	13,9	11,4		

5.2 Willemsova metoda

Willemsova metoda představuje modifikaci Demirjianovy metody (Willems et al., 2001). Willems et al. (2001) studoval dentální vývoj u belgických dětí s použitím kritérií navržených ve studii Demirjian et al. (1973) a vytvořil nové skórovací tabulky pro účely zvýšení přesnosti odhadu. Skóre jednotlivých zubů je vyjádřeno přímo v letech a po jejich sečtení získáme odhadovaný věk jedince. Nejsou tak zapotřebí percentilové ani převodní tabulky.

Tab. 6. Skóre pro stádia 7 trvalých zubů levé poloviny dolní čelisti (upraveno podle Willems et al., 2001)

Chlapci									Dívky								
Zub	Stádium								Zub	Stádium							
	A	B	C	D	E	F	G	H		A	B	C	D	E	F	G	H
M ₂	0,18	0,48	0,71	0,80	1,31	2,00	2,48	4,17	M ₂	0,14	0,11	0,21	0,32	0,66	1,28	2,09	4,04
M ₁				0,69	1,14	1,60	1,95	2,15	M ₁				0,62	0,90	1,56	1,82	2,21
P ₂	0,08	0,05	0,12	0,27	0,33	0,45	0,40	1,15	P ₂	-0,19	0,01	0,27	0,17	0,35	0,35	0,55	1,51
P ₁	0,15	0,56	0,75	1,11	1,48	2,03	2,43	2,83	P ₁	-0,95	0,15	0,16	0,41	0,60	1,27	1,58	2,19
C				0,04	0,31	0,47	1,09	1,9	C			0,60	0,54	0,62	1,08	1,72	2,00
I ₂			0,55	0,63	0,74	1,08	1,32	1,64	I ₂				0,29	0,32	0,49	0,79	0,70
I ₁			1,68	1,49	1,50	1,86	2,07	2,19	I ₁			1,83	2,19	2,34	2,82	3,19	3,14

5.3 Statistické zpracování dat

Statistické zpracování dat probíhalo v programu R 3.1.3 (R Core Team, 2014), Statistica 12 (StatSoft CR, 2013) a Morphome3cs 2.0 (Kabinet software a výuky matematiky, MFF UK, 2015).

5.3.1 Cohenova kappa

Za účelem stanovení intraobservační chyby, tj. míry shody opakovaných měření jednoho pozorovatele (Weinberg et al., 2005), jsme vytvořili testovací soubor čítající 50 náhodně vybraných jedinců. U těchto jedinců bylo provedeno opakované hodnocení dentice (7 zubů levého kvadrantu dolní čelisti) pomocí 8 vývojových stádií s časovým odstupem dvou týdnů. Pro výpočet intraobservační chyby jsme z důvodu kategorické povahy dat použili neváženou Cohenovu kappu (Cohen, 1960). Pomocí tohoto koeficientu jsme u všech jedinců testovali shodu celkem v 350, respektive v 700 vývojových stádiích.

Cohenova kappa κ je dána vztahem (Cohen, 1960):

$$\kappa = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c}$$

kde P_o značí pozorovanou pravděpodobnost shody obou měření a P_c značí očekávanou pravděpodobnost náhodné shody obou měření za předpokladu nezávislého rozhodování (Cohen, 1960; Landis a Koch, 1977). Pokud se hodnocení obou pozorování neliší, je $\kappa = 1$. Pokud je pravděpodobnost shody rovna pravděpodobnosti náhodné shody, je $\kappa = 0$. V případě absolutní neshody je $\kappa = -1$ (Procházka, 2015). Výsledné hodnoty Cohenovy kappy jsou interpretovány pomocí tabulky ze studie Landis a Koch (1977), (viz Tab. 7).

Tab. 7: Interpretace hodnot Cohenovy kappy podle Landis a Koch (1977)

κ	síla shody
<0,00	slabá (poor)
0,00-0,20	mírná (slight)
0,21-0,40	přiměřená (fair)
0,41-0,60	průměrná (moderate)
0,61-0,80	dobrá (substantial)
0,81-1,00	téměř přesná (almost perfect)

5.3.2 Parametrické a neparametrické testy

Statistické testy pro testování hypotéz lze rozdělit na parametrické a neparametrické. Parametrickým testem rozumíme takový test, jehož předpokladem je normální rozdělení dat v jednotlivých testovaných množinách. Při nesplnění podmínek normálního rozdělení je nutné použít neparametrické testy. Volbě vhodného testu tedy předchází ověření normality dat. Statistické testy můžeme z hlediska závislosti dvou výběrů rozdělit na dvouvýběrové a párové. Dvouvýběrové testy používáme k otestování rozdílů dvou navzájem nezávislých výběrů. Párové testy se používají pro srovnání dvou závislých výběrů (Zvárová, 2001; Zvára 2006).

V této práci jsme k ověřování normality dat použili Shapiro-Wilkův test. Při testování intersexuálních rozdílů byl v případě normálního rozdělení dat použit dvouvýběrový t-test. V případě nesplnění předpokladu normality byl použit dvouvýběrový Wilcoxonův test (Mannův-Whitneův test), který je neparametrickou alternativou dvouvýběrového t-testu. Pro testování rozdílů mezi odhadnutým dentálním věkem a chronologickým věkem byl z důvodu nenormálního rozdělení dat použit párový Wilcoxonův test. V případě testování interpopulačních rozdílů s využitím logistické regrese byl použit Waldův χ^2 test. Srovnání průměrné absolutní chyby mezi jednotlivými metodami bylo provedeno pomocí párového t-testu.

5.3.3 RMS chyba

RMS chyba (z angl. root mean-squared error) neboli střední kvadratická chyba se používá pro stanovení rozdílů mezi odhadnutými hodnotami a hodnotami skutečnými. V našem případě představovaly odhadované hodnoty dentální věk a skutečné hodnoty věk chronologický.

RMS chyba je definována vztahem (Willmott a Matsuura, 2005):

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}$$

kde P značí odhadované hodnoty, O jsou skutečné hodnoty a n je jejich celkový počet. Výhodou RMS chyby je její snadný výpočet a jasná interpretace (Wood, 1996). Další

vlastností je, že nezohledňuje směr chyby a je velmi citlivá na odlehlé hodnoty (Armstrong, 2001).

5.3.4 Logistická regrese

Cílem analýzy využívající metodu regrese je nalézt co nejlepší, nejúspornější a současně věcně smysluplný model, který popíše vztah mezi závislou (vysvětlovanou, predikovanou) proměnnou a skupinou nezávislých (vysvětlujících, predikujících) proměnných. Je-li vysvětlovaná proměnná spojitá, používáme regresi lineární, není-li spojitá ale kategorická, používáme regresi logistickou (Řeháková, 2000).

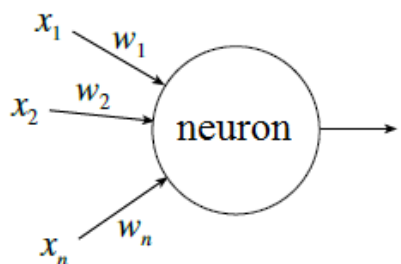
Logistická regrese predikuje pravděpodobnost výskytu vysvětlované proměnné v závislosti na hodnotě vysvětlující proměnné. Vektor nezávislých proměnných může obsahovat jednu nebo více proměnných a to jak spojitých (prediktory), tak kategorických (faktory). Dle typu závislé proměnné lze rozlišit logistickou regresi binární, ordinální a nominální (Meloun et al., 2005).

V této práci jsme použili logistickou regresi binární. Binární logistická regrese se týká závisle proměnné s binárním rozdělením, tj. nabývá hodnoty 1, pokud nastane určitý jev, a hodnoty 0, pokud tento jev nenastane (Meloun et al., 2005). Cílem je zjistit, jak závisí hodnoty pravděpodobnosti, že závislá proměnná nabyde právě hodnoty 1, na podmínkách, jež jsou dány hodnotami nezávislé proměnné. Hodnota pravděpodobnosti leží mezi nulou a jedničkou (Hendl, 2006). Vztah mezi závislou proměnnou a vektorem nezávislé proměnné vyjadřuje sigmoidní křivka (Meloun et al., 2005).

V našem případě představovala nezávisle proměnná chronologický věk a závisle proměnná představovala jednotlivá vývojová stádia mineralizace. Logistickou regresí jsme zjišťovali průměrný chronologický věk při dosažení určitého vývojového stádia. Průměrný věk byl vypočítán jako věk, ve kterém zub přechází z předešlého stádia do stádia následujícího s pravděpodobností alespoň 0,5. Zároveň byl vypočítán 95% interval, v rámci kterého k tomuto přechodu dochází. 95% interval byl zdola omezen hodnotou věku, ve kterém je pravděpodobnost přechodu do následujícího stádia alespoň 0,025, v případě horní hranice byla pravděpodobnost již 0,975. Tento interval bylo možné určit pouze při dostatečném počtu jedinců nacházejících se v daném stádiu. Přechod z jednoho stádia do druhého znázorňuje logistická křivka sigmoidního tvaru, která vyjadřuje závislost pravděpodobnosti dosažení daného stádia (osa y) na věku (osa x).

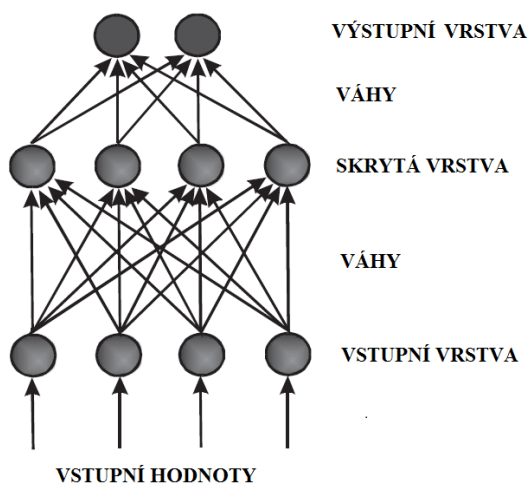
5.3.5 Metoda neuronových sítí

Základní jednotkou umělé neuronové sítě (ANN) je abstraktní neuron (viz Obr. 8), označovaný též jako perceptron (Corsin et al., 2005). Neuron má určitý počet vstupů (x_1, x_2, \dots, x_n), které jsou ohodnoceny vahami (w_1, w_2, \dots, w_n). Závislost mezi vstupem a jeho vahou simuluje synapsi mezi biologickými neurony. Čím menší je váha vstupu, tím menší je ovlivnění daného neuronu (Rojas, 1996).



Obr. 8. Abstraktní neuron: x_n = vstup; w_n = váha (upraveno podle Rojas, 1996).

Neurony mohou být uspořádány do několika vrstev. První vrstva neuronů se zpravidla označuje jako vstupní, poslední vrstva jako výstupní. Mezi vstupní a výstupní vrstvou se nacházejí vrstvy skryté, kterých může být v neuronové síti několik (Rojas, 1996). Neurony jsou mezi sebou vzájemně propojeny. Pokud jsou jednotlivé neurony spojeny pouze s neurony sousedních vrstev, nikoli s neurony vlastní vrstvy, a daná vrstva přijímá vstupy pouze z vrstvy předcházející, jedná se o dopřednou umělou neuronovou síť, angl. feed-forward artificial neural network (viz Obr. 9), (Coppa et al., 2007).



Obr. 9. Dopředná umělá neuronová síť (upraveno podle Coppa et al., 2007).

Jednotlivé vstupy neuronů představují pozorované hodnoty, v našem případě vývojová stádia A – H. Signál pozorovaných hodnoty je nejprve předán vstupní vrstvě neuronů. Tato vrstva je spojena s neurony ve skryté vrstvě, které signál zpracují a pošlou ho dále jako vstup neuronům další vrstvy. Informace z poslední skryté vrstvy je nakonec transportována do výstupní vrstvy neuronů. Výstupem celého procesu je predikovaná hodnota, v našem případě dentální věk (Rojas, 1996; Coppa et al., 2007).

Interakce mezi jednotlivými neurony závisí na váze jejich vstupů. K nastavení těchto vah dochází během procesu učení neuronové sítě (Corsini et al., 2005). Existují dvě základní strategie učení – s učitelem a bez učitele. V případě učení s učitelem je pro každou vstupní hodnotu známá požadovaná hodnota výstupu, tzv. učitel (Jain et al., 1996). Během procesu učení jsou váhy vstupů upravovány tak, aby rozdíl mezi aktuálním výstupem a požadovaným výstupem byl co nejmenší. Učení bez přítomnosti učitele je založeno na schopnosti neuronové sítě rozeznat ve vstupních datech stejné nebo blízké vlastnosti, podle kterých jsou dané vstupy následně tříděny. Tento typ učení se označuje jako samoorganizace (Jain et al., 1996).

Pro stanovení požadovaného výstupu k dané vstupu je zapotřebí tzv. trénovací množina. Pro účely testování již naučené neuronové sítě se používá tzv. testovací množina (Volná, 2008).

Existuje několik algoritmů pro učení neuronové sítě (Jain et al., 1996). V přibližně 80% všech aplikací neuronových sítí je používán učící algoritmus zpětného šíření chyby, angl. back propagation. Algoritmus zpětného šíření chyby byl použit i v naší práci. Tento typ algoritmu zajišťuje učení neuronové sítě pomocí učitele. Změna vah se provádí zpětnou distribucí chyby zpět ke vstupním vrstvám (Volná, 2008).

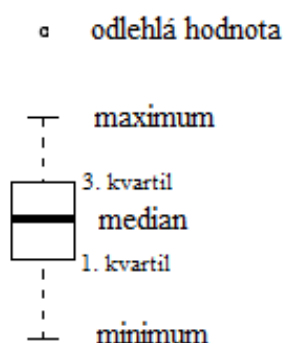
V této práci byla pro účely hodnocení přesnosti metody neuronových sítí použita vícevrstevná neuronová síť dopředného typu se sedmi neurony ve vstupní vrstvě, s pěti neurony ve skryté vrstvě a s jedním neuronem ve vrstvě výstupní. Trénovací i testovací množinu tvořila data vždy jen jedné populace, tedy například u české populace probíhal proces učení neuronové sítě na podkladě českých dat a proces testování již naučené sítě se uskutečňoval rovněž na českých datech. Pro hodnocení mezipopulačních rozdílů pomocí metody neuronových sítí tvořila trénovací množinu data české populace a testovací množinu data francouzské populace a *vice versa*, přičemž ve skryté vrstvě byl jeden až dvacet neuronů.

Vzhledem k tomu, že proces učení neuronové sítě není deterministické, neboť na začátku procesu jsou váhy ve vstupní vrstvě nastaveny vždy náhodně, byl každý výstup analýzy mírně odlišný, ačkoliv se jednalo o stejnou množinu dat. Z tohoto důvodu bylo provedeno u každého pohlaví i populace 5 analýz a z jejich výsledků vybrána ta, která vykazovala nejnižší celkovou RMS chybu odhadu.

Jelikož neuronové sítě pracují pouze s číselnými vstupy, bylo nutné stádia označená písmeny transformovat do číselné podoby ($A = 0$, $B = 1/7$, $C = 2/7$, $D = 3/7$, $E = 4/7$, $F = 5/7$, $G = 6/7$, $H = 1$).

5.3.6 Základní statistické charakteristiky

Spolehlivost Demirjianovy metody (Demirjian et al., 1976), Willemsovy metody (Willems et al., 2001) a přesnost metody neuronových sítí jsme hodnotili na základě srovnání chronologického a dentálního věku. Pro každou z 12 věkových kategorií i všechny kategorie dohromady byl vypočítán průměrný dentální věk se směrodatnou odchylkou, průměrný rozdíl mezi chronologickým a dentálním věkem se směrodatnou odchylkou, minimum i maximum rozdílu, dále medián rozdílu a RMS chyba odhadu. Medián rozdílu mezi skutečným a odhadovaným věkem byl stanoven z důvodu nenormálního rozdělení hodnot. Průměrný rozdíl byl stanoven z praktických důvodů pro porovnání našich výsledků s jinými populacemi, jelikož většina srovnávacích studií používá výhradně průměrné hodnoty. Pro každou metodu, pohlaví a populaci byl vytvořen krabicový graf (boxplot), ilustrující chybu odhadu ve formě mediánu rozdílu mezi odhadovaným dentálním věkem a chronologickým věkem (viz Obr. 10). Osa x grafu představuje věkovou kategorii v rocích, osa y nese hodnoty absolutní chyby odhadu opět v jednotkách roků.



Obr. 10. Boxplot - medián.

6. Výsledky

6.1 Intraobservační chyba

Za účelem stanovení intraobservační chyby byl použit Cohenův koeficient kappa (Cohen, 1960). Tento koeficient shody byl vypočítán jak pro jednotlivé typy zubů, tak pro všechny zuby dohromady. Výpočet byl proveden v programu Morphome3cs.

Cohenova kappa dosáhla celkové hodnoty 0,83. Podle studie Landis a Koch (1977) spadá tato hodnota do kategorie „téměř přesná shoda“ (almost perfect agreement). U jednotlivých zubů se hodnoty koeficientu kappa pohybovaly v rozmezí 0,71 až 0,91, tedy v kategoriích „dobrá shoda“ (substantial agreement) až „téměř přesná shoda“. Nejnižší koeficient shody vykazoval špičák (C), nejvyšší shodu první stolička (M₁). Zároveň bylo potvrzeno, že rozdíl mezi dvěma hodnoceními nebyl vyšší než jedno stádium. Kompletní výsledky pro intra observační chybu jsou uvedeny v tabulce 8.

Tab. 8. Výsledky intra observační chyby: Cohenův koeficient kappa (κ)

	typ zubu							
	I ₁	I ₂	C	P ₁	P ₂	M ₁	M ₂	celkem
κ	0,77	0,78	0,76	0,90	0,85	0,91	0,84	0,83

6.2 Hodnocení metod pro odhad věku

6.2.1 Hodnocení dentálního věku pomocí Demirjianovy metody

Výsledky hodnocení spolehlivosti Demirjianovy metody jsou uvedeny v tabulkách 9 a 10 a v grafech 3 a 4 pro českou populaci, resp. v tabulce 11 a 12 a v grafech 5 a 6 pro francouzskou populaci.

Z výsledků je patrné, že Demirjianova metoda věk konzistentně nadhodnotila u obou populací jak u dívek, tak u chlapců, a to téměř ve všech věkových kategoriích. Podhodnocení věku bylo potvrzeno pouze v nejstarších věkových kategoriích. Výjimku představuje česká populace dívek, u kterých došlo k nadhodnocení věku ve všech věkových skupinách.

V případě české populace došlo k nadhodnocení věku u dívek průměrně o 0,33 roku, přičemž medián rozdílu dentálního a chronologického věku se od průměrného rozdílu zásadně nelišil (viz Tab. 9). U českých chlapců byl věk nadhodnocen průměrně o 0,29 roku a medián rozdílu činil 0,36 roku (viz Tab. 10). Statisticky významné rozdíly mezi dentálním a chronologickým věkem byly u dívek potvrzeny v 5., 6., 7., 10., 11. a 13. věkové kategorii (viz Graf 3), přičemž k nejvyššímu nadhodnocení došlo v 5. věkové skupině, kde průměrný rozdíl mezi odhadovaným a skutečným věkem byl 0,75 roku a medián rozdílu 0,72 roku. U české populace chlapců se dentální věk od skutečného věku signifikantně lišil ve 4., 5., 6., 7., 9., 10. a 12. věkové skupině (viz Graf 4). Nejvýraznější nadhodnocení bylo potvrzeno u pětiletých chlapců, u kterých byl dentální věk nadhodnocen průměrně o 1,05 roku. V rámci jednotlivých věkových skupin se hodnoty maxima a minima absolutní chyby odhadu pohybovaly u dívek v rozmezí 0,37 roku (5. věková kategorie) až 4,42 roku (12. věková kategorie), u chlapců 1,19 roku (7. věková kategorie) až 3,68 (11. věková kategorie).

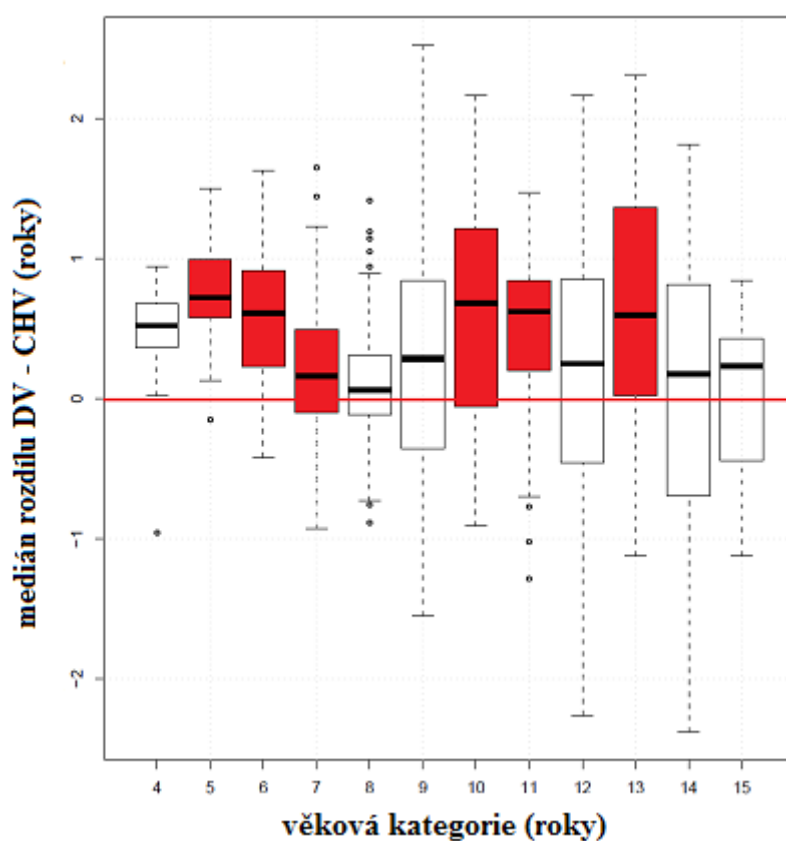
V případě francouzské populace byl dentální věk nadhodnocen u dívek průměrně o 0,45 roku, medián rozdílu činil 0,37 roku (viz Tab. 11). U chlapců byl věk nadhodnocen průměrně o 0,46 roku, medián rozdílu byl jen o dvě setiny nižší (viz Tab. 12). Stejně jako u české populace byl průměrný rozdíl mezi dentálním a chronologickým věkem statisticky významný i pro celkový soubor francouzských chlapců a dívek. U dívek se dentální věk od skutečného věku signifikantně lišil v 5., 6., 7., 10., 11., 12., 13., a 15. věkové kategorii (viz Graf 5). Nejvyšší průměrný rozdíl byl potvrzen u jedenáctiletých děvčat, u kterých dosáhl hodnoty 0,88 roku. Největší rozdíl mezi maximem a minimem rozdílu

chronologického a dentálního věku vykazovala skupina třináctiletých dívek, kde byl rozsah rozdílu 4,81 roku. Naopak nejmenší rozdíl byl ve 4. věkové kategorii, 0,38 roku. U chlapců byl statisticky významný rozdíl potvrzen ve všech věkových kategoriích s výjimkou 4., 13. a 14. věkové kategorie (viz Graf 6). Dentální věk byl u chlapců nejvíce nadhodnocen v 6. věkové kategorii a to průměrně o 0,95 roku. Největší variabilita rozdílu byla u chlapců pozorována v 10. věkové kategorii (4,32 roku) a nejnižší naopak v 6. věkové kategorii (1,19 roku).

Tab. 9. Demirjianova metoda (Demirjian et al., 1976) – česká populace dívek: dentální věk (DV), chronologický věk (CHV), směrodatná odchylka ($\pm SD$), minimum (min), maximum (max), p-hodnota Wilcoxonova testu (p)

věková kategorie (roky)	průměrný DV	($\pm SD$)	RMS chyba	průměrný rozdíl DV-CHV	($\pm SD$)	min	max	medián rozdílu DV-CHV	p
4	5,19	($\pm 0,42$)	0,68	0,58	($\pm 0,28$)	0,02	0,94	0,52	0,129
5	6,29	($\pm 0,49$)	0,84	0,75	($\pm 0,42$)	1,13	1,50	0,72	<0,001*
6	7,14	($\pm 0,64$)	0,74	0,56	($\pm 0,49$)	-0,42	1,63	0,61	<0,001*
7	7,73	($\pm 0,63$)	0,60	0,24	($\pm 0,56$)	-0,93	1,23	0,16	0,014*
8	8,57	($\pm 0,52$)	0,54	0,12	($\pm 0,53$)	-0,73	0,88	0,06	0,154
9	9,87	($\pm 0,99$)	1,02	0,31	($\pm 0,98$)	-1,55	2,52	0,28	0,059
10	11,07	($\pm 0,84$)	1,00	0,59	($\pm 0,81$)	-0,91	2,16	0,68	<0,001*
11	11,93	($\pm 0,84$)	0,81	0,44	($\pm 0,70$)	-0,70	1,47	0,62	0,002*
12	12,51	($\pm 1,30$)	1,23	0,11	($\pm 1,24$)	-2,26	2,16	0,25	0,491
13	13,99	($\pm 1,06$)	1,10	0,58	($\pm 0,96$)	-1,12	2,31	0,60	0,014*
14	14,55	($\pm 1,04$)	1,05	0,05	($\pm 1,07$)	-2,38	1,81	0,18	0,668
15	15,63	($\pm 0,61$)	0,57	0,06	($\pm 0,58$)	-1,12	0,84	0,23	0,571
celkem	10,43	($\pm 2,85$)	0,89	0,33	($\pm 0,83$)	-	-	0,32	<0,001*

*p < 0,05

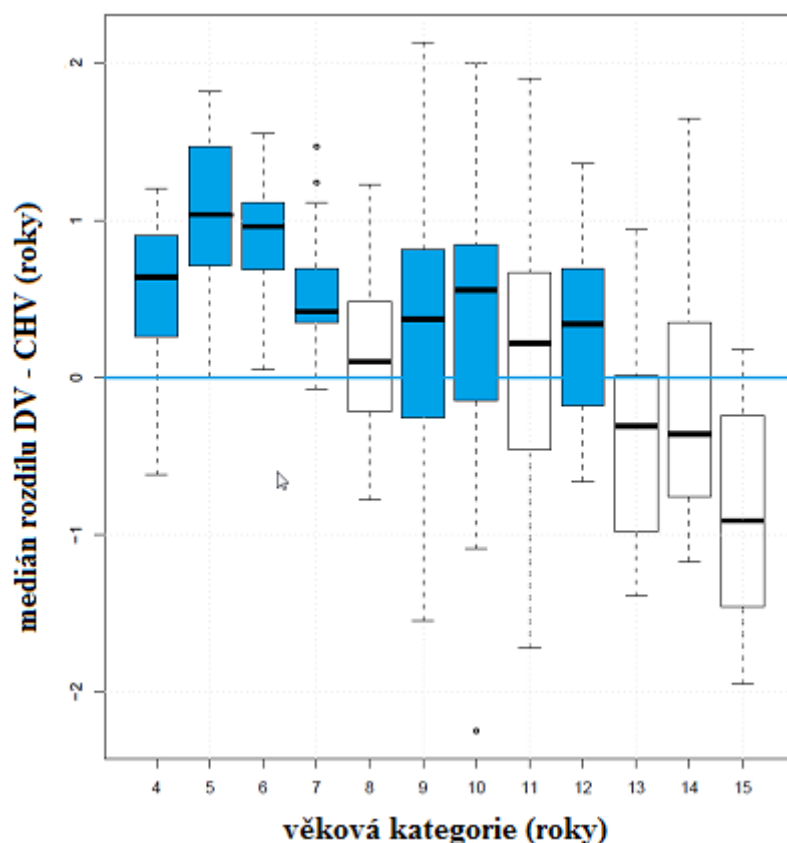


Graf 3. Demirjianova metoda (Demirjian et al., 1976) – česká populace dívek: signifikantní rozdíl mezi dentálním věkem (DV) a chronologickým věkem (CHV) označen červeně.

Tab. 10. Demirjianova metoda (Demirjian et al., 1976) – česká populace chlapců: dentální věk (DV), chronologický věk (CHV), směrodatná odchylka ($\pm SD$), minimum (min), maximum (max), p-hodnota Wilcoxonova testu (p)

věková kategorie (roky)	průměrný DA	($\pm SD$)	RMS chyba	průměr rozdílu DV–CHV	($\pm SD$)	min	max	medián rozdílu DV–CHV	p
4	5,17	($\pm 0,51$)	0,74	0,54	($\pm 0,52$)	-0,62	1,20	0,64	0,014*
5	6,62	($\pm 0,68$)	1,19	1,05	($\pm 0,57$)	0,00	1,82	1,04	<0,001
6	7,32	($\pm 0,48$)	0,98	0,90	($\pm 0,38$)	0,05	1,55	0,96	<0,001
7	8,11	($\pm 0,41$)	0,62	0,52	($\pm 0,35$)	-0,08	1,11	0,42	<0,001
8	8,66	($\pm 0,63$)	0,55	0,17	($\pm 0,53$)	-0,78	1,23	0,10	0,059
9	9,85	($\pm 0,93$)	0,95	0,36	($\pm 0,89$)	-1,55	2,13	0,37	0,008*
10	10,92	($\pm 0,86$)	0,91	0,39	($\pm 0,83$)	-1,09	2,00	0,56	0,004*
11	11,70	($\pm 0,90$)	0,85	0,18	($\pm 0,84$)	-1,72	1,90	0,22	0,157
12	12,90	($\pm 0,60$)	0,60	0,30	($\pm 0,54$)	-0,66	1,36	0,34	0,011*
13	13,16	($\pm 0,70$)	0,73	-0,30	($\pm 0,70$)	-1,39	0,94	-0,31	0,065
14	14,50	($\pm 0,98$)	0,88	-0,05	($\pm 0,91$)	-1,17	1,65	-0,36	0,635
15	14,50	($\pm 1,07$)	1,16	-0,96	($\pm 0,81$)	-1,95	0,18	-1,16	0,078
celkem	9,99	($\pm 2,41$)	0,83	0,33	($\pm 0,77$)	-	-	0,36	<0,001

*p < 0,05

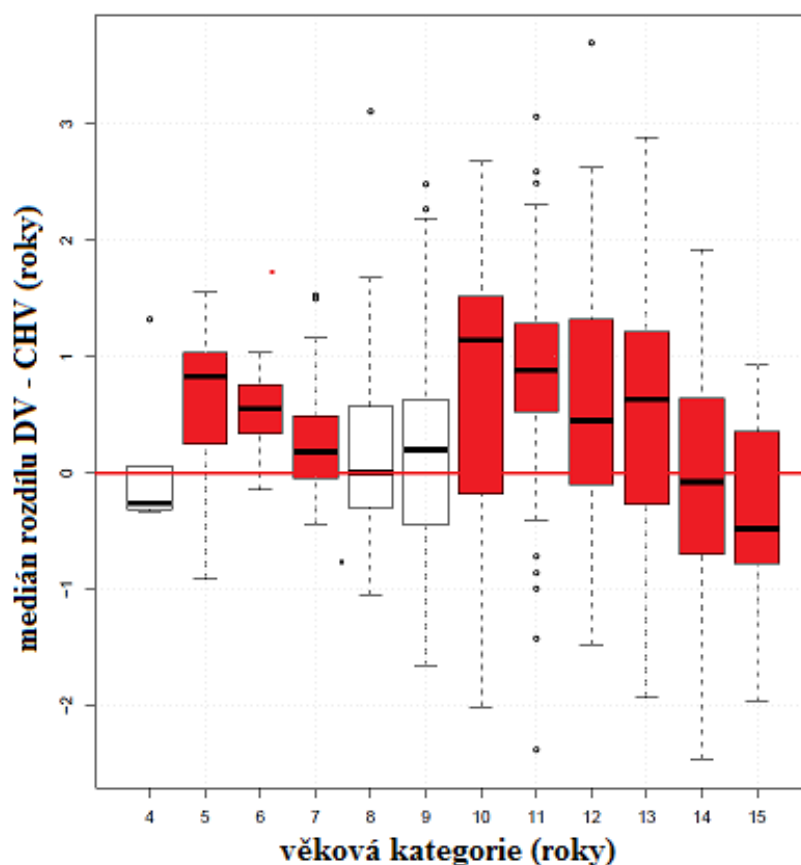


Graf 4. Demirjianova metoda (Demirjian et al., 1976) – česká populace chlapců: signifikantní rozdíl mezi dentálním věkem (DV) a chronologickým věkem (CHV) označen modře.

Tab. 11. Demirjianova metoda (Demirjian et al., 1976) – **francouzská populace dívek:** dentální věk (DV), chronologický věk (CHV), směrodatná odchylka (\pm SD), minimum (min), maximum (max), p-hodnota Wilcoxonova testu (p)

věková kategorie (roky)	průměrný DA	(\pm SD)	RMS chyba	průměr rozdílu DV-CHV	(\pm SD)	min	max	medián rozdílu DV-CHV	p
4	4,68	(\pm 0,71)	0,59	0,03	(\pm 0,64)	-0,32	0,06	-0,26	0,563
5	6,21	(\pm 1,00)	0,92	0,59	(\pm 0,74)	-0,91	1,56	0,83	0,042*
6	7,00	(\pm 0,42)	0,62	0,52	(\pm 0,32)	-0,15	1,03	0,55	<0,001*
7	7,78	(\pm 0,58)	0,63	0,32	(\pm 0,55)	-0,44	1,16	0,18	0,014*
8	8,81	(\pm 0,90)	0,82	0,25	(\pm 0,80)	-1,05	1,68	0,01	0,215
9	9,74	(\pm 0,97)	1,01	0,26	(\pm 0,99)	-1,66	2,19	0,20	0,183
10	11,17	(\pm 1,12)	1,34	0,66	(\pm 1,17)	-2,01	2,68	1,14	0,005*
11	12,34	(\pm 1,10)	1,30	0,88	(\pm 0,99)	-0,41	2,31	0,88	<0,001*
12	13,19	(\pm 1,11)	1,22	0,73	(\pm 1,00)	-0,48	2,62	0,45	<0,001*
13	14,21	(\pm 1,08)	1,21	0,76	(\pm 1,08)	-1,93	2,88	0,63	0,011*
14	14,57	(\pm 0,86)	1,06	0,14	(\pm 1,07)	-2,46	1,92	-0,08	0,845
15	15,15	(\pm 0,36)	0,81	-0,32	(\pm 0,77)	-1,97	0,93	-0,48	0,039*
celkem	11,51	(\pm2,90)	1,07	0,45	(\pm0,99)	-	-	0,37	<0,001*

*p < 0,05

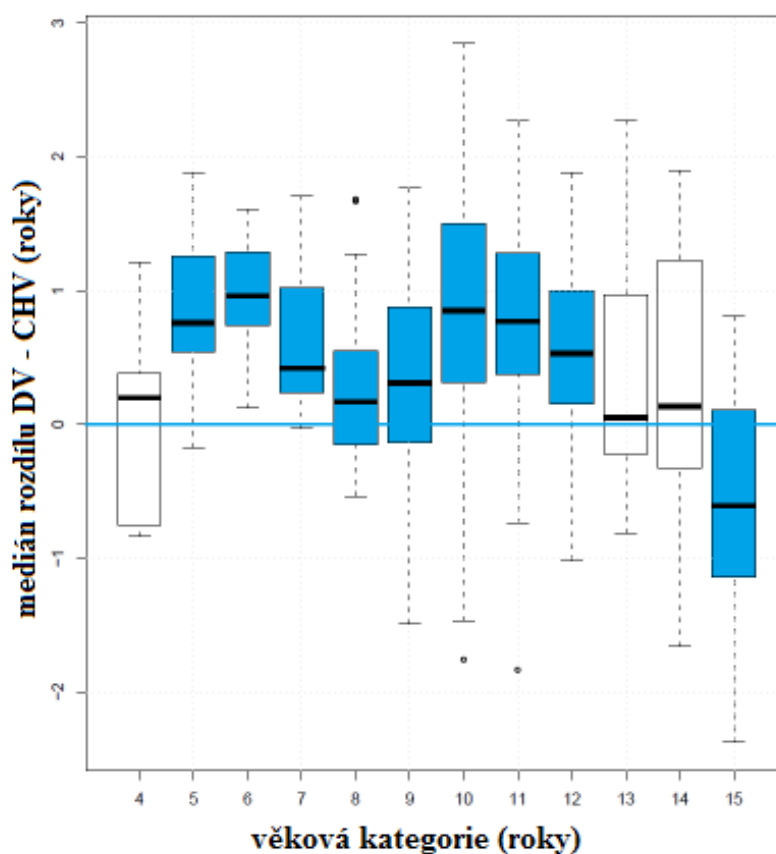


Graf 5. Demirjianova metoda (Demirjian et al., 1976) – **francouzská populace dívek:** signifikantní rozdíl mezi dentálním věkem (DV) a chronologickým věkem (CHV) označen červeně.

Tab. 12. Demirjianova metoda (Demirjian et al., 1976) – **francouzská populace chlapců:** dentální věk (DV), chronologický věk (CHV), směrodatná odchylka (\pm SD), minimum (min), maximum (max), p-hodnota Wilcoxonova testu (p)

věková kategorie (roky)	průměrný DV	(\pm SD)	RMS chyba	průměr rozdílu DV - CHV	(\pm SD)	min	max	medián rozdílu DV - CHV	p
4	4,72	(\pm 0,88)	0,76	0,04	(\pm 0,88)	-0,84	1,21	0,20	1,000
5	6,46	(\pm 0,72)	1,06	0,86	(\pm 0,72)	-0,18	1,88	0,76	0,007*
6	7,36	(\pm 0,45)	1,05	0,95	(\pm 0,45)	-0,12	1,61	0,96	<0,001*
7	8,30	(\pm 0,52)	0,79	0,61	(\pm 0,52)	-0,03	1,71	0,42	<0,001*
8	8,82	(\pm 0,70)	0,64	0,29	(\pm 0,70)	-0,54	1,27	0,17	0,009*
9	9,90	(\pm 0,92)	0,86	0,40	(\pm 0,92)	-1,49	1,77	0,31	0,009*
10	11,28	(\pm 1,08)	1,31	0,83	(\pm 1,08)	-1,47	2,85	0,85	<0,001*
11	12,19	(\pm 0,81)	1,09	0,74	(\pm 0,81)	-0,74	2,27	0,77	<0,001*
12	13,03	(\pm 0,80)	0,94	0,59	(\pm 0,80)	-1,02	1,88	0,53	<0,001*
13	13,85	(\pm 0,99)	0,88	0,39	(\pm 0,99)	-0,82	2,28	0,05	0,113
14	14,88	(\pm 1,00)	1,02	0,34	(\pm 1,00)	-1,66	1,90	0,14	0,284
15	14,96	(\pm 0,83)	1,03	0,51	(\pm 0,83)	-2,38	0,81	-0,61	<0,001*
celkem	11,42	(\pm2,75)	0,99	0,46	(\pm2,75)	-	-	0,44	<0,001*

*p < 0,05



Graf 6. Demirjianova metoda (Demirjian et al., 1976) – **francouzská populace chlapců:** signifikantní rozdíl mezi dentálním věkem (DV) a chronologickým věkem (CHV) označen modře.

6.2.2 Hodnocení dentálního věku pomocí Willemsovy metody

Výsledky testování spolehlivosti Willemsovy metody (Willems et al., 2001) jsou uvedeny v tabulce 13 a 14 a v grafech 7 a 8 pro českou populaci, resp. v tabulce 15 a 16 a v grafech 9 a 10 pro francouzskou populaci.

Willemsova metoda nevykazovala na rozdíl od Demirjianovy metody výrazné a konzistentní nadhodnocení věku ani u jedné ze studovaných populací. Nicméně stejně jako u předchozí metody docházelo k výraznému podhodnocení ve starších věkových kategoriích. Podle RMS chyby odhadu i mediánu rozdílu mezi dentálním a chronologickým věkem je zřejmé, že tato metoda odhadovala věk v porovnání s Demirjianovou metodou u obou populací spolehlivěji.

Willemsova metoda v případě české populace dentální věk podhodnotila u dívek průměrně o -0,04 roku a medián rozdílu byl -0,01 roku (viz Tab. 13). U chlapců metoda věk naopak nadhodnotila průměrně o 0,08 roku a medián rozdílu činil 0,11 roku (viz Tab. 14). Signifikantní rozdíly mezi dentálním a chronologickým věkem byly u dívek potvrzeny v 5., 6., 7., 11., 12 a 14. věkové kategorii (viz Graf 7), přičemž nejvyšší nadhodnocení bylo potvrzeno u pětiletých děvčat, u kterých byl průměrný rozdíl 0,51 roku. Naopak nejvyšší podhodnocení vykazovala děvčata 14. věkové kategorie, ve které byl dentální věk podhodnocen průměrně o 0,64 roku. Pro celý soubor českých dívek se dentální věk od skutečného věku signifikantně nelišil, na rozdíl od chlapců, u kterých byla signifikance nalezena. U chlapců byly na úrovni jednotlivých věkových kategorií potvrzeny statisticky významné rozdíly mezi skutečným a odhadovaným věkem v 5., 6., 7., 14. a 15. věkové skupině (viz Graf 8). Stejně jako u děvčat byl dentální věk nejvíce nadhodnocen v 5. věkové kategorii a to průměrně o 0,53 roku. K nejvyššímu podhodnocení došlo v 15. věkové kategorii, kde se dentální věk lišil v průměru o 0,64 roku. Hodnoty maxima a minima rozdílu skutečného a dentálního věku se pohybovaly u dívek v rozmezí 0,77 roku (4. věková kategorie) až 4,49 roku (14. věková kategorie), u chlapců 0,99 roku (4. věková kategorie) až 3,05 (14. věková kategorie). Stejně jako u předchozí metody můžeme pozorovat trend zvyšující se směrodatné odchylky průměrného rozdílu s věkem.

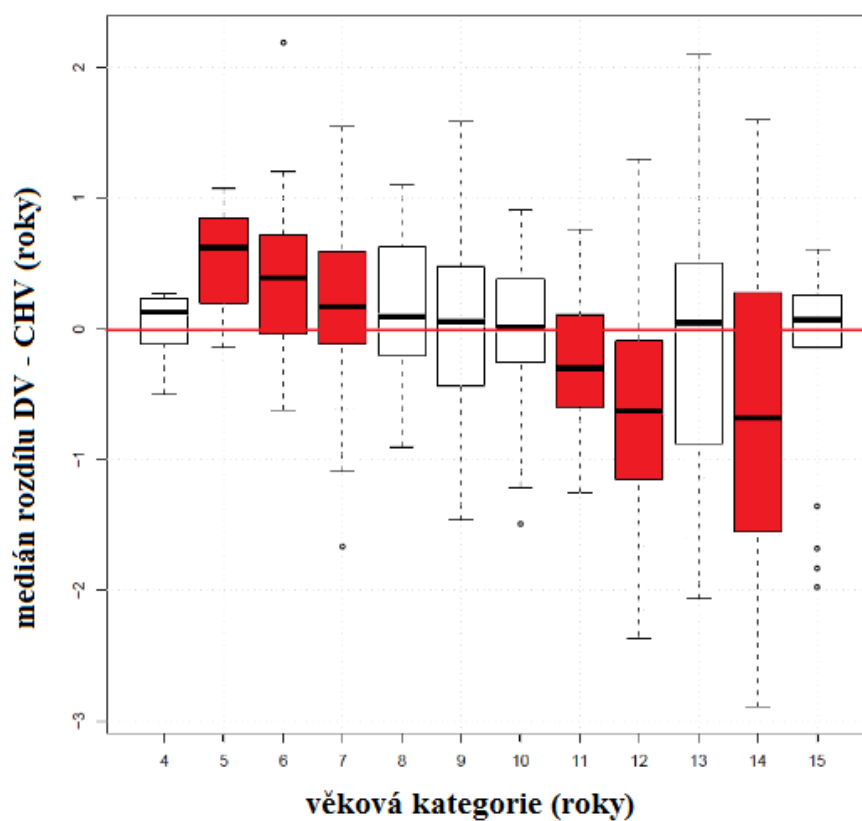
V případě francouzské populace byl skutečný věk nadhodnocen u dívek průměrně o 0,09 roku (viz Tab. 15) a u chlapců o 0,14 roku (viz Tab. 16). Stejně jako u české populace byl průměrný rozdíl mezi dentálním a chronologickým věkem statisticky významný i pro celkový soubor dívek, nikoliv pro chlapce. U dívek se dentální věk od skutečného věku signifikantně lišil pouze v 6., 14. a 15. věkové kategorii (viz Graf 9).

Nejvyšší průměrný rozdíl byl potvrzen u patnáctiletých děvčat, u kterých byl dentální věk podhodnocen průměrně o 0,89 roku. V případě chlapců metoda nejvíce nadhodnocovala v 6. věkové kategorii, průměrně o 0,60 roku, a nejvíce podhodnocovala v 15. věkové kategorii, průměrně o 0,94 let. Největší rozdíl mezi maximem a minimem rozdílu chronologického a dentálního věku vykazovala skupina třináctiletých dívek, kde byl rozsah rozdílu až 5,05 roku. Naopak nejmenší rozdíl byl potvrzen ve 4. věkové kategorii a to 0,09 roku. U chlapců byl statisticky významný rozdíl potvrzen v 6., 7., 8., 10., 11., a 15. věkových kategoriích (viz Graf 10). Největší variabilita rozdílu byla u chlapců pozorována v 14. věkové kategorii (4,39 roku) a nejnižší ve 4. věkové kategorii (1,07 roku).

Tab. 13. Willemsova metoda (Willems et al., 2001) – česká populace dívek: dentální věk (DV), chronologický věk (CHV), směrodatná odchylka ($\pm SD$), minimum (min), maximum (max), p-hodnota Wilcoxonova testu (p)

věková kategorie (roky)	průměrný DV	($\pm SD$)	RMS chyba	průměr rozdílu DV-CHV	($\pm SD$)	min	max	medián rozdílu DV-CHV	p
4	4,59	($\pm 0,31$)	0,27	0,03	($\pm 0,28$)	-0,50	0,27	0,13	0,742
5	6,02	($\pm 0,48$)	0,65	0,51	($\pm 0,41$)	-0,14	1,07	0,62	<0,001*
6	6,96	($\pm 0,80$)	0,72	0,39	($\pm 0,62$)	-0,62	1,20	0,39	0,005*
7	7,70	($\pm 0,77$)	0,68	0,21	($\pm 0,65$)	-1,09	1,55	0,17	0,029*
8	8,59	($\pm 0,55$)	0,56	0,15	($\pm 0,55$)	-0,90	1,10	0,09	0,106
9	9,61	($\pm 0,74$)	0,75	0,05	($\pm 0,75$)	-1,46	1,59	0,06	0,733
10	10,46	($\pm 0,60$)	0,59	-0,02	($\pm 0,60$)	-1,21	0,89	0,01	0,819
11	11,24	($\pm 0,59$)	0,55	-0,25	($\pm 0,50$)	-1,25	0,76	-0,30	0,009*
12	11,82	($\pm 0,99$)	1,08	-0,57	($\pm 0,93$)	-2,37	1,30	-0,63	0,002*
13	13,28	($\pm 1,16$)	1,03	-0,13	($\pm 1,05$)	-2,04	2,10	0,05	0,570
14	13,86	($\pm 1,26$)	1,40	-0,64	($\pm 1,27$)	-2,89	1,60	-0,69	0,031*
15	15,34	($\pm 0,83$)	0,85	-0,23	($\pm 0,85$)	-0,15	0,63	0,07	0,862
celkem	10,06	($\pm 2,66$)	0,80	-0,04	($\pm 0,80$)	-	-	-0,01	0,842

*p < 0,05

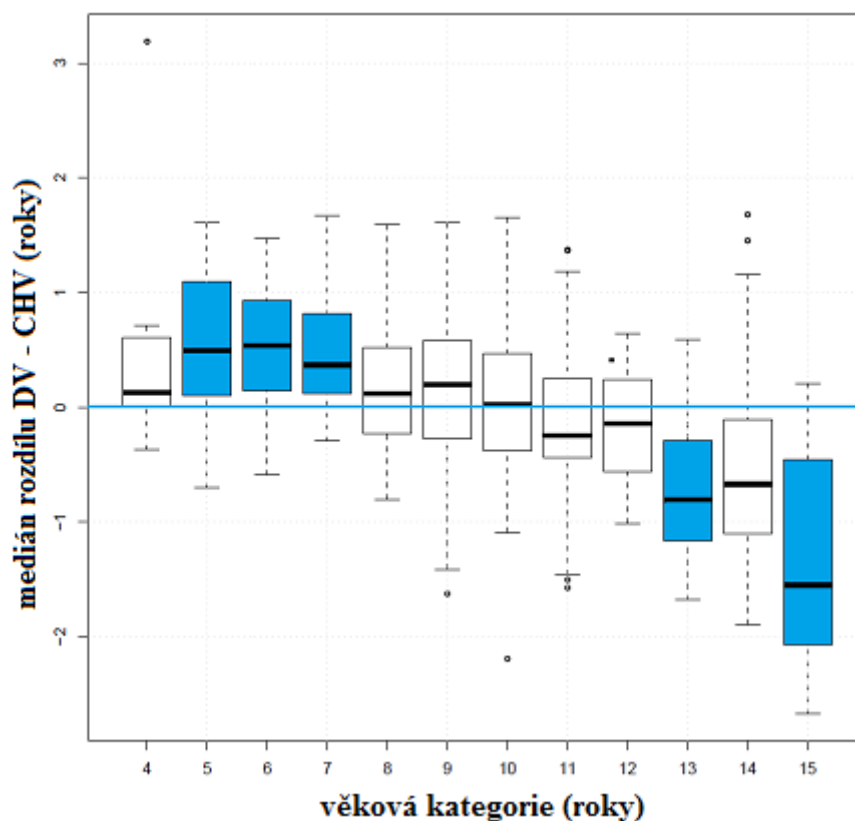


Graf 7. Willemsova metoda (Willems et al., 2001) – česká populace dívek: signifikantní rozdíl mezi dentálním věkem (DV) a chronologickým věkem (CHV) označen červeně.

Tab. 14. Willemsova metoda (Willems et al., 2001) – česká populace chlapců: dentální věk (DV), chronologický věk (CHV), směrodatná odchylka ($\pm SD$), minimum (min), maximum (max), p-hodnota Wilcoxonova testu (p)

věková kategorie (roky)	průměrný DV	($\pm SD$)	RMS chyba	průměr rozdílu DV-CHV	($\pm SD$)	min	max	medián rozdílu DV-CHV	p
4	4,81	($\pm 0,37$)	1,04	0,18	($\pm 0,38$)	-0,37	0,62	0,11	0,050
5	6,11	($\pm 0,76$)	0,83	0,53	($\pm 0,65$)	-0,70	1,61	0,50	0,002*
6	6,92	($\pm 0,69$)	0,73	0,50	($\pm 0,55$)	-0,59	1,47	0,54	0,001*
7	8,08	($\pm 0,56$)	0,67	0,49	($\pm 0,47$)	-0,29	1,67	0,37	<0,001*
8	8,67	($\pm 0,68$)	0,61	0,18	($\pm 0,59$)	-0,80	1,59	0,12	0,090
9	9,64	($\pm 0,75$)	0,73	0,14	($\pm 0,72$)	-1,41	1,61	0,20	0,113
10	10,59	($\pm 0,75$)	0,74	0,06	($\pm 0,74$)	-1,01	1,65	0,02	0,566
11	11,35	($\pm 0,81$)	0,77	-0,17	($\pm 0,76$)	-1,46	1,36	-0,25	0,104
12	12,47	($\pm 0,59$)	0,52	-0,13	($\pm 0,51$)	-1,01	0,64	-0,14	0,282
13	12,78	($\pm 0,68$)	0,94	-0,68	($\pm 0,67$)	-1,68	0,59	-0,81	0,003*
14	14,17	($\pm 1,18$)	1,14	-0,38	($\pm 1,12$)	-1,89	1,16	-0,67	0,376
15	14,14	($\pm 1,32$)	1,66	-1,32	($\pm 1,07$)	-2,67	0,21	-1,55	0,039*
celkem	9,75	($\pm 2,38$)	0,78	0,08	($\pm 0,78$)	-	-	0,11	0,020*

*p < 0,05

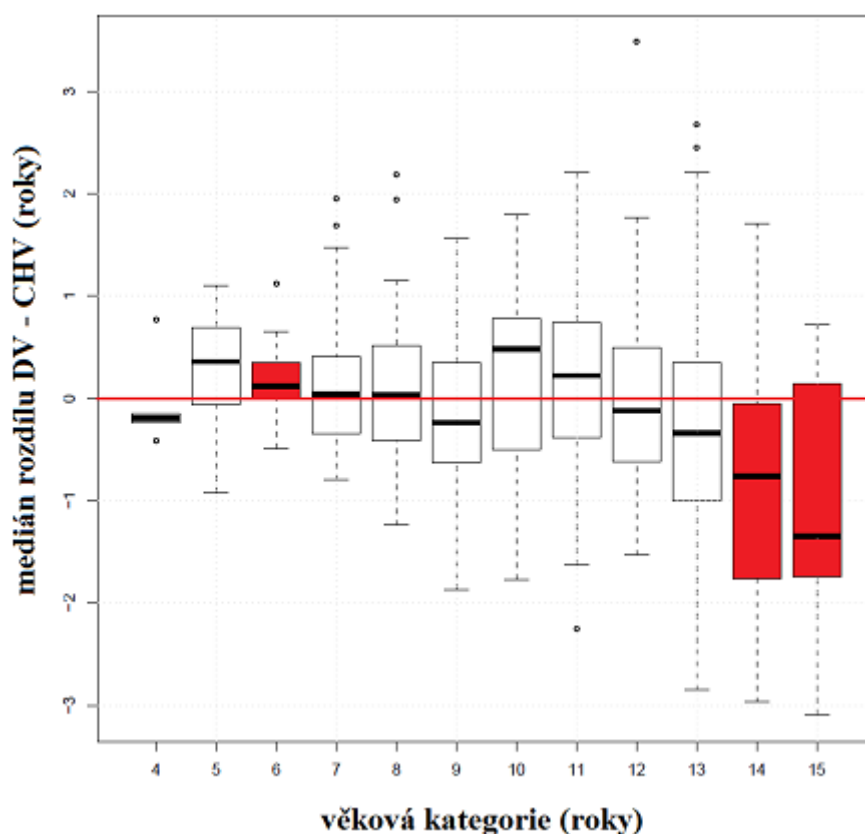


Graf 8. Willemsova metoda (Willems et al., 2001) – česká populace chlapců: signifikantní rozdíl mezi dentálním věkem (DV) a chronologickým věkem (CHV) označen modře.

Tab. 15. Willemsova metoda (Willems et al., 2001) – **francouzská populace dívek:** dentální věk (DV), chronologický věk (CHV), směrodatná odchylka ($\pm SD$), minimum (min), maximum (max), p-hodnota Wilcoxonova testu (p)

věková kategorie (roky)	průměrný DV	($\pm SD$)	RMS chyba	průměr rozdílu DV-CHV	($\pm SD$)	min	max	medián rozdílu DV-CHV	p
4	4,58	($\pm 0,50$)	0,39	0,07	($\pm 0,42$)	-0,24	-0,15	-0,20	0,438
5	5,91	($\pm 0,87$)	0,66	0,29	($\pm 0,62$)	-0,92	1,10	0,36	0,109
6	6,66	($\pm 0,48$)	0,41	0,18	($\pm 0,38$)	-0,49	0,65	0,12	0,047*
7	7,62	($\pm 0,75$)	0,75	0,17	($\pm 0,75$)	-0,90	1,47	0,04	0,540
8	8,67	($\pm 0,81$)	0,74	0,11	($\pm 0,75$)	-1,24	1,15	0,03	0,676
9	9,37	($\pm 0,80$)	0,77	0,10	($\pm 0,77$)	-1,87	1,56	-0,24	0,233
10	10,72	($\pm 0,91$)	0,94	0,21	($\pm 0,93$)	-1,77	1,79	0,48	0,201
11	11,64	($\pm 0,96$)	0,89	0,17	($\pm 0,80$)	-1,63	2,20	0,22	0,100
12	12,47	($\pm 0,93$)	0,92	0,01	($\pm 0,93$)	-1,53	1,76	-0,12	0,630
13	13,22	($\pm 1,14$)	1,18	0,23	($\pm 1,17$)	-2,85	2,20	-0,34	0,108
14	13,78	($\pm 1,28$)	1,45	-0,65	($\pm 1,31$)	-2,97	1,71	-0,76	0,005*
15	14,58	($\pm 1,09$)	1,43	-0,89	($\pm 1,10$)	-3,09	0,72	-1,35	<0,001*
celkem	10,97	($\pm 2,68$)	0,99	0,09	($\pm 0,98$)	-3,09	2,20	-0,03	0,091

*p < 0,05

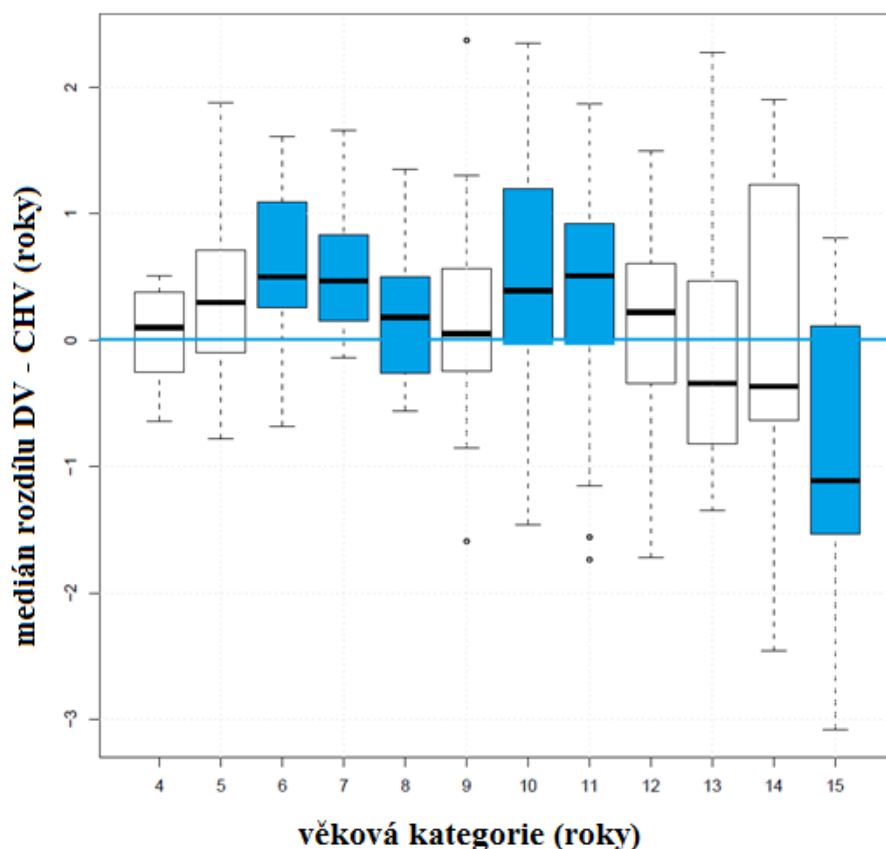


Graf 9. Willemsova metoda (Willems et al., 2001) – **francouzská populace dívek:** signifikantní rozdíl mezi dentálním věkem (DV) a chronologickým věkem (CHV) označen červeně.

Tab. 16. Willemsova metoda – **francouzská populace chlapců**: dentální věk (DV), chronologický věk (CHV), směrodatná odchylka ($\pm SD$), minimum (min), maximum (max), p-hodnota Wilcoxonova testu (p)

věková kategorie (roky)	průměrný DV	($\pm SD$)	RMS chyba	průměr rozdílu DV-CHV	($\pm SD$)	min	max	medián rozdílu DV-CHV	p
4	4,70	($\pm 0,48$)	0,42	0,02	($\pm 0,47$)	-0,60	0,47	0,10	1,000
5	5,94	($\pm 0,84$)	0,77	0,34	($\pm 0,73$)	-0,78	1,83	0,30	0,123
6	7,01	($\pm 0,66$)	0,85	0,60	($\pm 0,61$)	-0,70	1,56	0,50	0,001*
7	8,25	($\pm 0,52$)	0,76	0,56	($\pm 0,51$)	-0,14	1,64	0,47	<0,001*
8	8,77	($\pm 0,63$)	0,61	0,24	($\pm 0,57$)	-0,54	1,30	0,18	0,039*
9	9,68	($\pm 0,84$)	0,73	0,18	($\pm 0,72$)	-0,88	1,32	0,05	0,166
10	10,91	($\pm 0,98$)	1,02	0,47	($\pm 0,92$)	-1,49	2,34	0,39	0,002*
11	11,82	($\pm 0,80$)	0,88	0,38	($\pm 0,81$)	-1,11	1,90	0,51	0,002*
12	12,60	($\pm 0,81$)	0,81	0,17	($\pm 0,80$)	-1,68	1,49	0,22	0,216
13	13,33	($\pm 1,09$)	0,94	-0,14	($\pm 0,94$)	-1,35	2,31	-0,34	0,120
14	14,59	($\pm 1,20$)	1,17	0,05	($\pm 1,19$)	-2,46	1,93	-0,37	0,770
15	14,53	($\pm 1,04$)	1,40	-0,94	($\pm 1,03$)	-3,10	0,84	-1,11	<0,001*
celkem	11,10	($\pm 2,68$)	0,93	0,14	($\pm 0,92$)	-3,10	2,34	0,08	0,002

*p < 0,05



Graf 10. Willemsova metoda (Willems et al., 2001) – **francouzská populace chlapců**: signifikantní rozdíl mezi dentálním věkem (DV) a chronologickým věkem (CHV) označen modře.

6.2.3 Hodnocení dentálního věku pomocí metody neuronových sítí

V tabulce 17 a 18 a v grafech 11 a 12 jsou uvedeny výsledky analýzy přesnosti metody pro českou populaci, resp. v tabulce 19 a 20 a v grafech 13 a 14 pro francouzskou populaci.

Srovnáním dentálního a chronologického věku u českých dívek byl vypočítán medián rozdílu 0,02 roku (viz Tab. 17). U českých chlapců byl medián rozdílu jen o 0,01 roku vyšší (viz Tab. 18). Statisticky významné rozdíly byly u dívek potvrzeny v 5., 10., 12 a 13. věkové kategorii (viz Graf 11), přičemž k největšímu signifikantnímu nadhodnocení věku došlo v 10. věkové kategorii s mediánem rozdílu 0,32 roku a průměrným rozdílem 0,27 roku. Největší podhodnocení bylo opět potvrzeno v posledních dvou věkových kategoriích s průměrným rozdílem přesahujícím půl roku. Tyto rozdíly však nebyly statisticky významné. U populace českých chlapců byly signifikantní rozdíly mezi skutečným a odhadovaným věkem potvrzeny v 7., 13., 14. a 15. věkové kategorii (viz Graf 12). V poslední kategorii byl dentální věk podhodnocen průměrně o 1,59 roku. V porovnání s dívkami jsou hodnoty mediánu rozdílu u chlapců od 4. do 12. věkové kategorie relativně vyrovnané, nejvyšší hodnota nepřesahuje 0,22 roku. Naopak u dívek je nápadné především podhodnocení ve 12. věkové kategorii, kde je medián rozdílu -0,38 roku, a naopak velmi mírné nadhodnocení věku v 11. a 13. věkové kategorii s mediánem rozdílu 0,02 a 0,17 roku. Pro celý soubor chlapců i dívek se dentální věk od skutečného signifikantně neliší.

V případě francouzské populace dívek byl dentální věk nadhodnocen o 0,1 roku – medián rozdílu (viz Tab. 19). Na úrovni jednotlivých věkových kategorií byly statisticky významné rozdíly potvrzeny v 5., 10., 11., a 12., 14. a 15. věkové skupině (viz Graf 13). Nejvyšší medián rozdílu byl stejně jako u českých dívek nalezen v 10. věkové kategorii, nicméně zde byl tento rozdíl více než dvojnásobný, a to 0,70 roku. V této věkové kategorii byl také největší rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou rozdílu – 4,54 roku. U populace francouzských chlapců byl celkový medián rozdílu -0,06 roku (viz Tab. 20). Ačkoliv je tento rozdíl větší než u opačného pohlaví, celková RMS chyba je menší (0,90 u chlapců, 0,96 u dívek). V porovnání s českou populací jsou celkové hodnoty RMS chyby o více než dvě desetiny vyšší. K vyšší RMS chybě přispívá větší vzdáleností odlehlých hodnot od hodnoty mediánu. U českých dívek tyto hodnoty nepřesahují dva roky, na rozdíl od francouzské populace, kde se některé odlehlé hodnoty blíží ke třem rokům. Statisticky významné rozdíly byly u chlapců nalezeny 6., 10., 11. a 15. věkové kategorii, nejvyšších

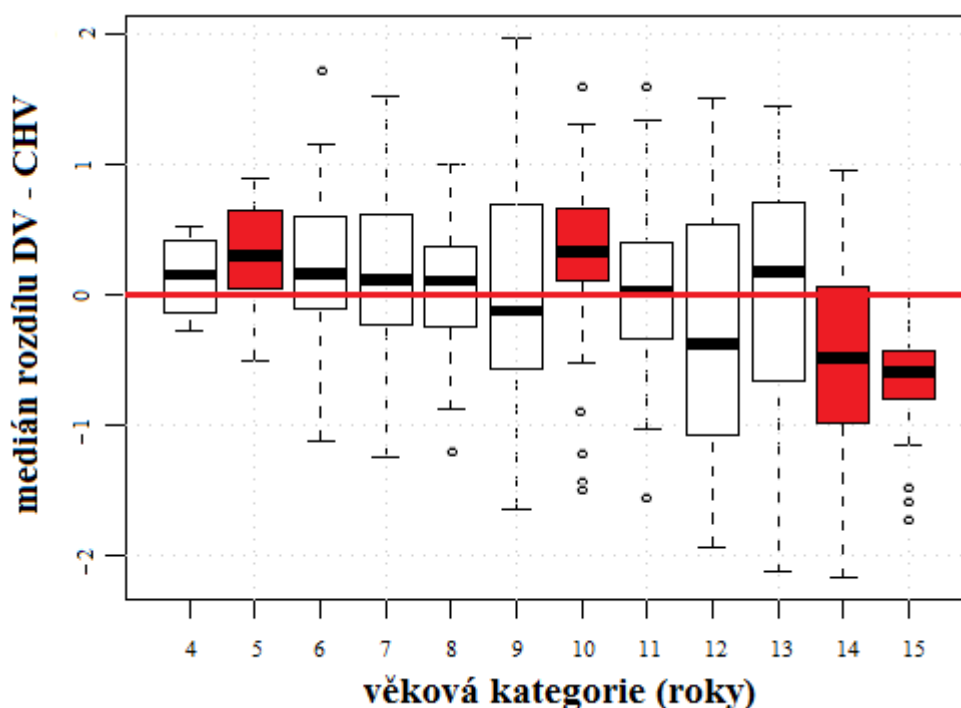
hodnot dosahovaly téměř shodně v 10. a 11. věkové kategorii (viz Graf 14), kde byl medián rozdílu 0,35, respektive 0,37 roku. Největší podhodnocení bylo potvrzeno opět v nejstarší věkové kategorii, kde byl dentální věk podhodnocen o více než jeden rok.

Tab. 17. Metoda neuronových sítí – česká populace dívek: dentální věk (DV), chronologický věk (CHV), směrodatná odchylka ($\pm SD$), minimum (min), maximum (max), p-hodnota Wilcoxonova testu (p)

věková kategorie (roky)	průměrný DV	($\pm SD$)	RMS chyba	průměr rozdílu DV-CHV	($\pm SD$)	min	max	medián rozdílu DV-CHV	p
4	4,57	($\pm 0,54$)	0,32	0,12	($\pm 0,31$)	-0,29	0,59	0,14	0,300
5	5,76	($\pm 0,55$)	0,48	0,25	($\pm 0,43$)	-0,51	0,83	0,29	0,040*
6	6,77	($\pm 0,83$)	0,68	0,19	($\pm 0,66$)	-1,15	1,21	0,16	0,190
7	7,69	($\pm 0,75$)	0,66	0,18	($\pm 0,64$)	-1,18	1,54	0,11	0,142
8	8,51	($\pm 0,50$)	0,47	0,06	($\pm 0,47$)	-0,80	1,01	0,10	0,244
9	9,62	($\pm 0,88$)	0,89	0,06	($\pm 0,89$)	-1,75	1,95	-0,13	0,902
10	10,75	($\pm 0,72$)	0,73	0,27	($\pm 0,69$)	-0,53	1,43	0,32	0,005*
11	11,55	($\pm 0,83$)	0,68	0,06	($\pm 0,69$)	-1,09	1,45	0,02	0,761
12	12,11	($\pm 1,07$)	1,02	-0,28	($\pm 0,99$)	-1,92	1,50	-0,38	0,103
13	13,35	($\pm 1,08$)	0,96	-0,06	($\pm 0,98$)	-2,18	1,48	0,17	0,871
14	13,97	($\pm 0,82$)	0,98	-0,53	($\pm 0,84$)	-2,24	0,95	-0,48	0,007*
15	14,85	($\pm 0,48$)	0,86	-0,72	($\pm 0,49$)	-1,18	-0,02	-0,59	<0,001*
celkem	9,96	($\pm 2,58$)	0,77	0,00*	($\pm 0,70$)	-	-	0,03	0,700

*p < 0,05

** -0,0002



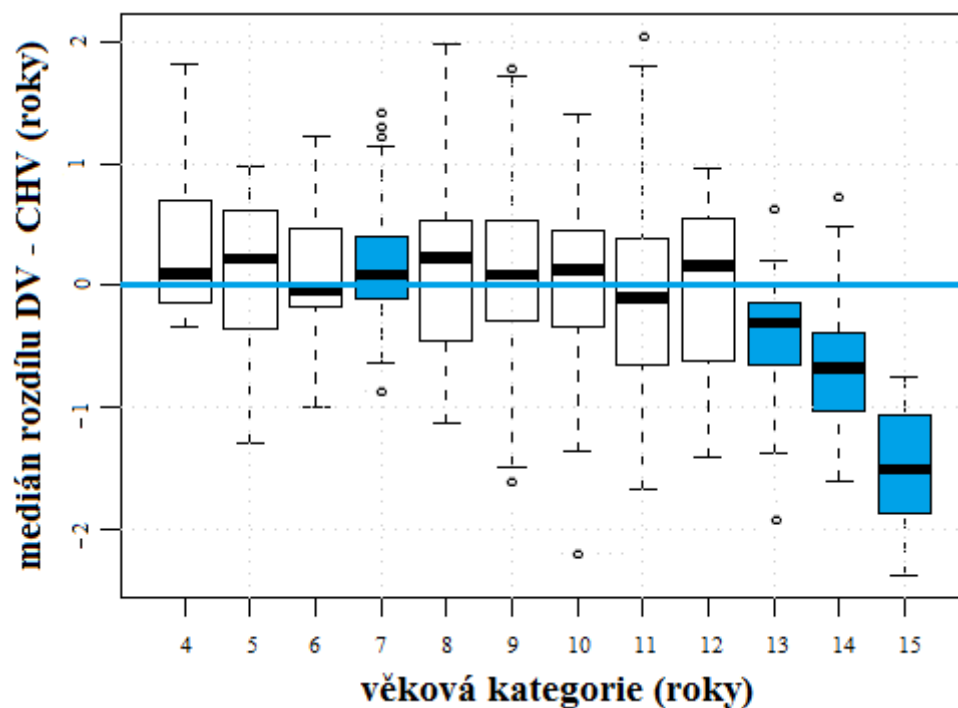
Graf 11. Metoda neuronových sítí – česká populace dívek: signifikantní rozdíl mezi dentálním věkem (DV) a chronologickým věkem (CHV) označen červeně.

Tab. 18. Metoda neuronových sítí – česká populace chlapců: dentální věk (DV), chronologický věk (CHV), směrodatná odchylka ($\pm SD$), minimum (min), maximum (max), p-hodnota Wilcoxonova testu (p)

věková kategorie (roky)	průměrný DV	($\pm SD$)	RMS chyba	průměr rozdílu DV-CHV	($\pm SD$)	min	max	medián rozdílu DV-CHV	p
4	4,95	($\pm 0,62$)	0,68	0,32	($\pm 0,63$)	-0,26	1,82	0,09	0,174
5	5,63	($\pm 0,71$)	0,60	0,06	($\pm 0,61$)	-1,25	1,00	0,21	0,482
6	6,52	($\pm 0,67$)	0,56	0,10	($\pm 0,56$)	-1,00	1,26	-0,03	0,776
7	7,83	($\pm 0,69$)	0,62	0,24	($\pm 0,57$)	-0,61	1,16	0,08	0,032*
8	8,62	($\pm 0,81$)	0,70	0,12	($\pm 0,69$)	-1,19	1,99	0,22	0,221
9	9,01	($\pm 0,73$)	0,69	0,11	($\pm 0,69$)	-1,49	1,78	0,09	0,256
10	10,56	($\pm 0,79$)	0,76	0,02	($\pm 0,77$)	-1,26	1,52	0,13	0,520
11	11,44	($\pm 0,96$)	0,89	-0,07	($\pm 0,90$)	-1,69	1,80	-0,10	0,347
12	12,61	($\pm 0,75$)	0,66	0,01	($\pm 0,67$)	-1,30	0,97	0,16	0,853
13	13,03	($\pm 0,57$)	0,73	-0,42	($\pm 0,61$)	-1,24	0,25	-0,31	0,009*
14	13,97	($\pm 0,69$)	0,86	-0,57	($\pm 0,66$)	-1,51	0,59	-0,68	0,013*
15	13,95	($\pm 0,78$)	1,59	-1,51	($\pm 0,56$)	-2,49	-1,78	-1,51	0,007*
celkem	9,84	($\pm 2,51$)	0,75	0,00**	($\pm 0,79$)	-	-	0,03	0,767

*p < 0,05

** 0.00033



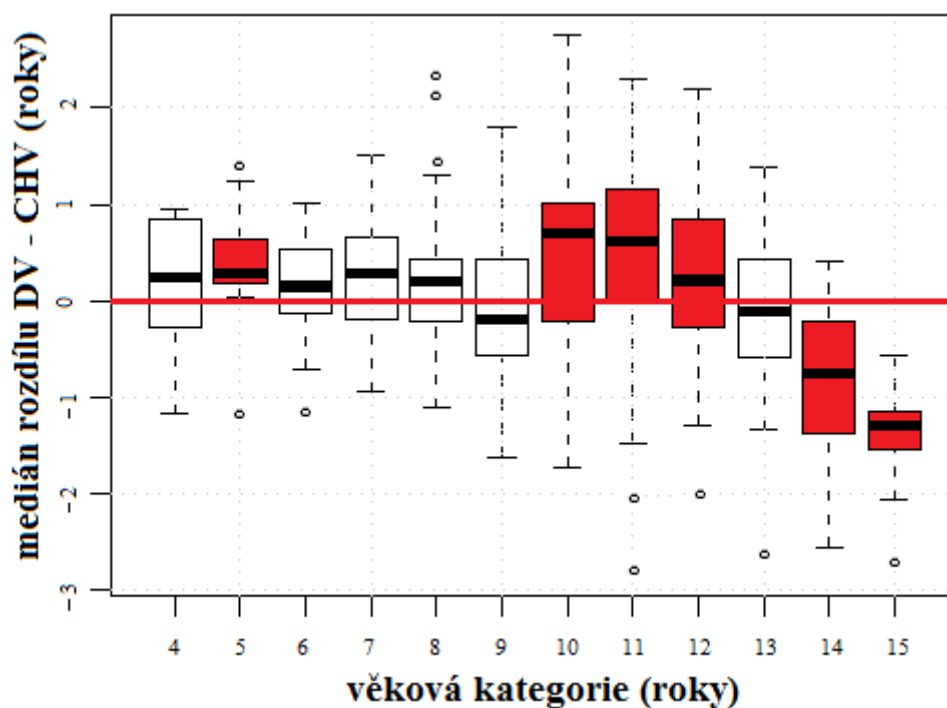
Graf 12. Metoda neuronových sítí – česká populace chlapců: signifikantní rozdíl mezi dentálním věkem (DV) a chronologickým věkem (CHV) označen modře.

Tab. 1. Metoda neuronových sítí – *francouzská populace dívek*: dentální věk (DV), chronologický věk (CHV), směrodatná odchylka ($\pm SD$), minimum (min), maximum (max), p -hodnota Wilcoxonova testu (p)

věková kategorie (roky)	průměrný DV	($\pm SD$)	RMS chyba	průměr rozdílu DV-CHV	($\pm SD$)	min	max	medián rozdílu DV-CHV	p
4	4,78	($\pm 0,78$)	0,75	0,13	($\pm 0,81$)	-0,21	0,97	0,25	0,840
5	5,97	($\pm 0,84$)	0,73	0,35	($\pm 0,67$)	0,09	1,20	0,28	0,030*
6	6,56	($\pm 0,67$)	0,52	0,08	($\pm 0,53$)	-0,69	1,02	0,15	0,320
7	7,71	($\pm 0,71$)	0,73	0,25	($\pm 0,70$)	-0,87	1,51	0,28	0,140
8	8,81	($\pm 0,82$)	0,76	0,26	($\pm 0,72$)	-1,20	1,23	0,20	0,060
9	9,52	($\pm 0,87$)	0,85	0,05	($\pm 0,86$)	1,64	1,80	-0,19	0,850
10	10,96	($\pm 1,02$)	1,11	0,46	($\pm 1,03$)	-1,73	2,81	0,70	0,010*
11	11,95	($\pm 1,06$)	1,10	0,48	($\pm 0,99$)	-1,52	2,35	0,61	<0,001*
12	12,68	($\pm 0,84$)	0,86	0,23	($\pm 0,83$)	-1,27	2,25	0,21	0,044*
13	13,34	($\pm 0,77$)	0,81	-0,11	($\pm 0,81$)	-1,30	1,41	-0,10	0,590
14	13,63	($\pm 0,66$)	1,09	-0,79	($\pm 0,75$)	-2,58	0,51	-0,75	<0,001*
15	14,11	($\pm 0,38$)	1,43	-1,36	($\pm 0,46$)	-1,09	-0,49	-1,28	<0,001*
celkem	10,10	($\pm 2,60$)	0,96	0,00**	($\pm 0,72$)	-	-	0,01	0,813

* $p < 0,05$

** -0.00013



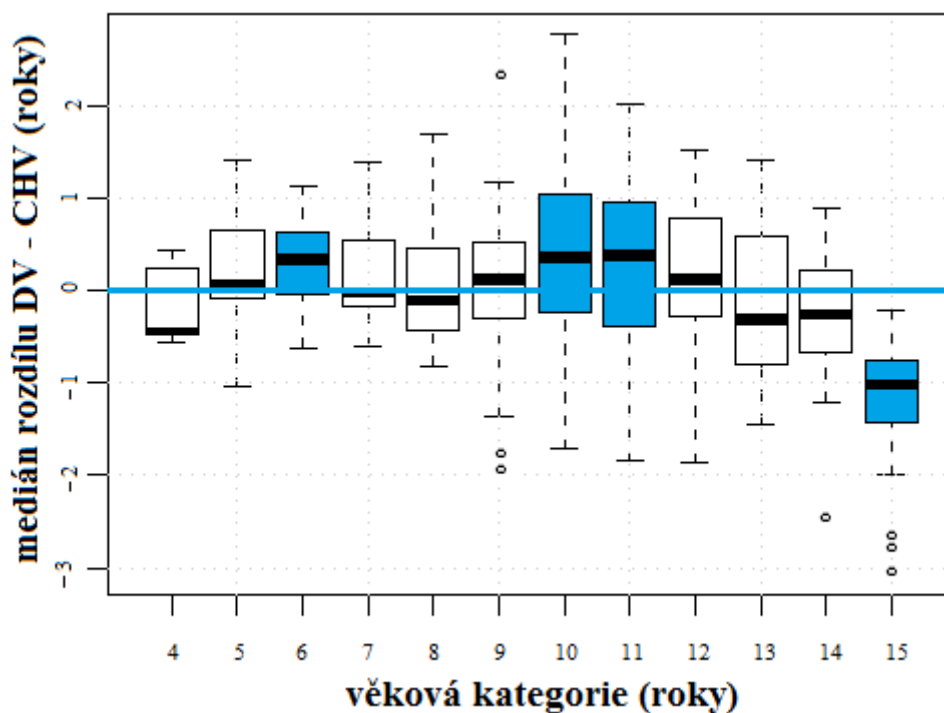
Graf 13. Metoda neuronových sítí – *francouzská populace dívek*: signifikantní rozdíl mezi dentálním věkem (DV) a chronologickým věkem (CHV) označen červeně.

Tab. 20. Metoda neuronových sítí – *francouzská populace chlapců*: dentální věk (DV), chronologický věk (CHV), směrodatná odchylka ($\pm SD$), minimum (min), maximum (max), *p*-hodnota Wilcoxonova testu (*p*)

věková kategorie (roky)	průměrný DV	($\pm SD$)	RMS chyba	průměr rozdílu DV-CHV	($\pm SD$)	min	max	medián rozdílu DV-CHV	p
4	4,53	($\pm 0,47$)	0,43	-0,15	($\pm 0,45$)	-0,49	0,50	-0,40	0,437
5	5,85	($\pm 0,77$)	0,71	0,25	($\pm 0,69$)	-1,03	1,48	0,06	0,320
6	6,76	($\pm 0,57$)	0,62	0,35	($\pm 0,52$)	-0,54	1,19	0,34	0,008*
7	7,91	($\pm 0,60$)	0,61	0,23	($\pm 0,58$)	-0,55	1,44	-0,01	0,257
8	8,55	($\pm 0,73$)	0,60	0,02	($\pm 0,61$)	-0,74	1,71	-0,10	0,891
9	9,57	($\pm 0,93$)	0,81	0,07	($\pm 0,82$)	-1,29	1,26	0,12	0,456
10	10,82	($\pm 1,06$)	1,06	0,38	($\pm 1,00$)	-1,69	2,82	0,35	0,023*
11	11,74	($\pm 0,91$)	0,95	0,29	($\pm 0,91$)	-1,88	2,03	0,37	0,034*
12	12,59	($\pm 0,89$)	0,91	0,16	($\pm 0,91$)	-1,90	1,55	0,11	0,221
13	13,32	($\pm 0,89$)	0,79	-0,14	($\pm 0,79$)	-1,48	1,46	-0,31	0,284
14	14,21	75,00	0,82	-0,32	($\pm 0,77$)	-1,24	0,89	-0,25	0,074
15	14,30	($\pm 0,63$)	1,34	-1,16	($\pm 0,67$)	-2,00	-0,19	-1,00	<0,001*
celkem	10,01	($\pm 2,57$)	0,90	0,00**	($\pm 0,79$)	-	-	-0,06	0,989

* $p < 0,05$

** -0,00058



Graf 13. Metoda neuronových sítí – *francouzská populace dětí*: signifikantní rozdíl mezi dentálním věkem (DV) a chronologickým věkem (CHV) označen modře.

6.2.4 Srovnání jednotlivých metod pro odhad věku

Dosud jsme se věnovaly výsledkům hodnocení dentálního věku pouze na úrovni jednotlivých metod. Pro větší přehlednost jsou v této kapitole výsledky zrekapitulovány a srovnány na úrovni jednotlivých populací.

V tabulce 21 jsou shrnuty celkové RMS chyby příslušných metod. Celkový průměrný rozdíl popřípadě celkový medián rozdílu by totiž mohl vést k zavádějícím závěrům o vhodnosti metod. V případě vysokého nadhodnocení v určitých věkových kategoriích a naopak vysokého podhodnocení věku v jiných kategoriích se rozdíly ruší a celkové hodnoty rozdílů nabývají mnohem nižších hodnot než v případě mírného a konzistentního nadhodnocení, popřípadě podhodnocení věku.

Již v předchozí kapitole byla zmíněna vyšší citlivost RMS chyby na odlehlé hodnoty. Vzhledem k tomu, že u francouzské populace jsou odlehlé hodnoty ve srovnání s českou populací vyšší, nabývá také celková RMS chyba u francouzské populace vyšších hodnot. Celkovou RMS chybu jsme tedy porovnávali vždy mezi jednotlivými metodami v rámci jedné populace. Nejvyšší celkovou RMS chybu vykazovala u obou populací, jak u dívek, tak u chlapců, Demirjianova metoda. Výrazně lepší výsledky poskytovala Willemsova metoda a metoda neuronových sítí. Ačkoli se RMS chyby těchto dvou posledně zmíněných metod příliš nelišily, byla prokázána nižší RMS chyba vždy v případě metody neuronových sítí.

Pouhým srovnáním celkových RMS chyb jednotlivých metod nezískáme informaci o tom, zda se metody od sebe statisticky významně odlišují. Za účelem vzájemného porovnání metod jsme provedli srovnání celkové průměrné absolutní chyby pomocí párového t-testu. Do statistické analýzy vstupovaly vždy jen dvě metody. Nejprve byla srovnávána metoda neuronových sítí s Demirjianovou metodou, následně byla metoda neuronových sítí srovnána s Willemsovou metodou. V tabulce 22 jsou uvedeny průměrné absolutní chyby odhadu pro každou metodu.

Srovnáním Demirjianovy metody a metody neuronových sítí bylo ve všech kategoriích potvrzeno, že se absolutní chyby odhadu významně liší a že metoda neuronových sítí signifikantně zvyšuje přesnost odhadu věku. Srovnáním s Willemsovou metodou však statisticky významnou odlišnost potvrzena nebyla.

Tab. 21. Celková RMS chyba (RMS) u testovaných metod

	česká populace		francouzská populace	
	dívky	chlapci	dívky	chlapci
RMS – Demirjianova metoda	0,89	0,83	1,07	0,99
RMS – Willemsova metoda	0,80	0,78	0,99	0,93
RMS – Metoda neuronových sítí	0,77	0,75	0,96	0,90

Tab. 22. Průměrná absolutní chyba (ACH) a výsledky párového t-testu (p-hodnota)

	česká populace		francouzská populace	
	dívky	chlapci	dívky	chlapci
ACH – Demirjianova metoda	0,697	0,665	0,852	0,782
ACH – Metoda neuronových sítí	0,559	0,546	0,614	0,600
p-hodnota	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	česká populace		francouzská populace	
	dívky	chlapci	dívky	chlapci
ACH – Willemsova metoda	0,571	0,570	0,659	0,660
ACH – Metoda neuronových sítí	0,556	0,548	0,617	0,618
p-hodnota	0,449	0,179	0,096	0,089

6.3 Hodnocení mezipopulačních rozdílů pomocí logistické regrese

Mezipopulační rozdíly v dentálním vývoji jsme hodnotili na základě stanovení věku při dosažení určitého vývojového stádia zubu pomocí logistické regrese. Statistické zpracování proběhlo v programu R.

Výsledky statistické analýzy jsou shrnuty v tabulce 25 pro chlapce a v tabulce 26 pro dívky. Srovnáním průměrného věku při dosažení daného stádia u českých a francouzských chlapců bylo zjištěno, že se průměrný věk signifikantně lišil ve 13 případech, respektive ve 13 stádiích, z celkového počtu 34 stádií, tj. ve 38 % (viz Tab. 25). Signifikanční rozdíly byly potvrzeny především ve stádiích G a H, tedy ve stádiích formování kořene zubu. S výjimkou stádia F a G prvního řezáku, dosáhli všech stádií, u kterých byl potvrzen signifikantní rozdíl, dříve francouzští chlapci. Největší rozdíl vykazovala první stolička (M_1) ve stádiu G, do kterého francouzští chlapci vstupovali téměř o rok dříve než čeští chlapci. Graficky jsou rozdíly ve vstupu do jednotlivých stádií znázorněny prostřednictvím logistických křivek. Jednotlivé grafy znázorňují přechod M_1 ze stádia D na E (viz Graf 16), z E na F (viz Graf 17), z F na G (viz Graf 18) a z G na H (viz Graf 19). Na základě sklonu křivek můžeme vyvodit a srovnat délku intervalu, v rámci kterého k přechodu mezi jednotlivými stádii dochází. Čím je sklon křivky nižší, tím je délka intervalu větší. Nejdelší interval byl zaznamenán u stádia H dolního špičáku. U obou populací tento interval přesahoval 5 let. Ve velikosti intervalu můžeme sledovat trend zvětšování se jeho délky s přibývajícím věkem. V grafu 18 pro vstup M_1 do stádia G můžeme vidět, že jsou logistické křivky od sebe výrazně vzdáleny. To koresponduje s již zmíněným statisticky významným rozdílem ve vstupu do tohoto stádia.

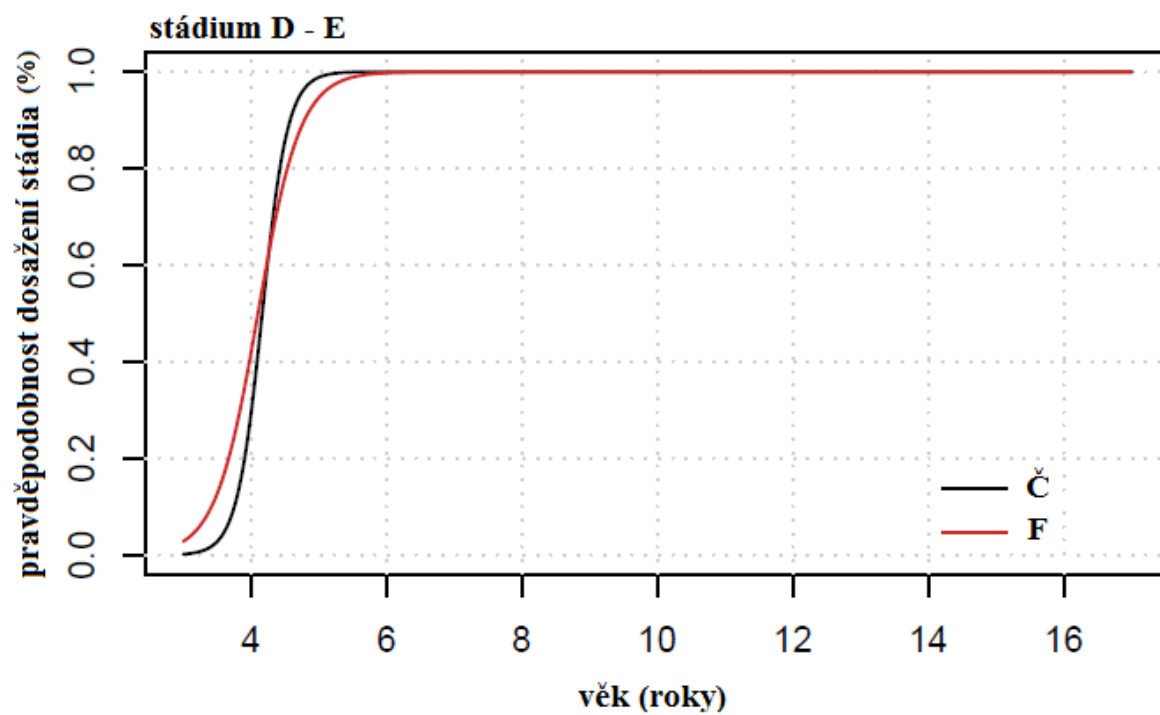
V případě srovnání průměrného věku u dívek byly statisticky významné rozdíly potvrzeny v 9 z celkového počtu 31 srovnatelných stádií, tj. ve 29 % (viz Tab. 26). Stejně jako u chlapců se signifikantní rozdíly týkaly především stádií F a G. Největší rozdíl vykazovala druhá stolička (M_2) ve stádiu G, do kterého dívky francouzské populace vstupovaly o více než jeden rok dříve než české dívky. V 6 případech vstupovaly francouzské dívky do daných stádií dříve než české dívky. Značnou nejednotnost však můžeme sledovat u M_2 , kdy do stádia F a H vstupují české dívky v porovnání s francouzskými dívkami dříve a do stádia G naopak později. Nejdelší 95% interval vykazoval opět špičák ve stádiu H, u francouzských dívek byl tento interval dlouhý 5,30 roku, respektive u českých 5,25 roku. Stejně jako u chlapců můžeme i u dívek sledovat trend prodlužování 95% intervalu úměrně s věkem.

Tab. 25. Průměrný věk při dosažení vývojového stádia ($A - H$) – **chlapci**: pravděpodobnost 0,5 (věk), pravděpodobnost 0,025 (\downarrow), pravděpodobnost 0,975 (\uparrow); tučně zvýrazněné hodnoty představují $p < 0,05$

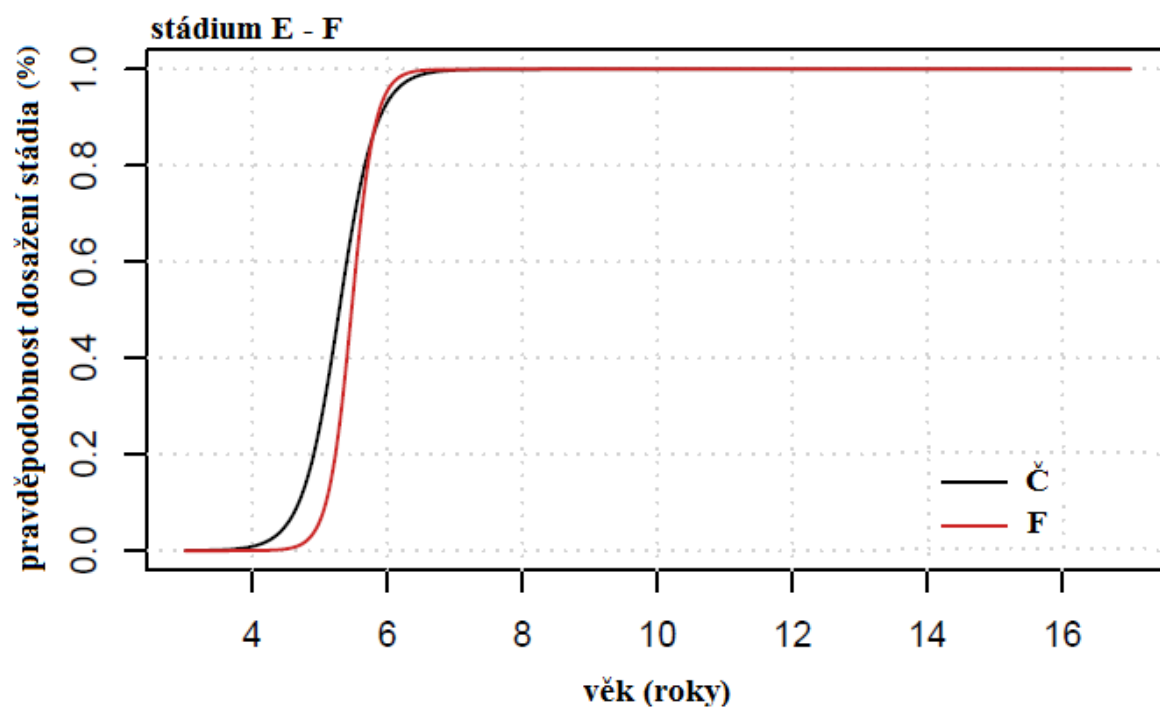
česká populace chlapců														
stádium	II		I2		C		P1		P2		M1		M2	
	věk	↑	věk	↓	věk	↑	věk	↓	věk	↑	věk	↓	věk	↑
B													4,17	↑
C					4,57	3,81	5,32	3,81	3,00	5,01	5,01	3,93	6,26	4,86
D														4,64
E	4,51	3,84	5,18	5,08	5,84	4,06	7,62	6,53	5,29	7,78	7,64	5,33	9,94	5,93
F	5,57	4,60	6,55	6,37	8,37	6,74	10,00	9,10	7,42	10,77	9,67	7,69	11,64	8,32
G	6,90	5,74	8,06	8,22	11,48	9,51	13,46	11,53	9,87	13,19	12,56	10,63	14,42	10,40
H	8,84	7,14	10,55	10,23	14,05	11,25	16,86	13,46	11,21	15,70	14,90	12,58	-	12,31
													15,92	-
	</													

Tab. 26. Průměrný věk při dosažení vývojového stádia ($A-H$) – **dívky:** pravděpodobnost 0,5 (věk), pravděpodobnost 0,025 (↓), pravděpodobnost 0,975 (↑); tučně zvýrazněné hodnoty představují $p < 0,05$

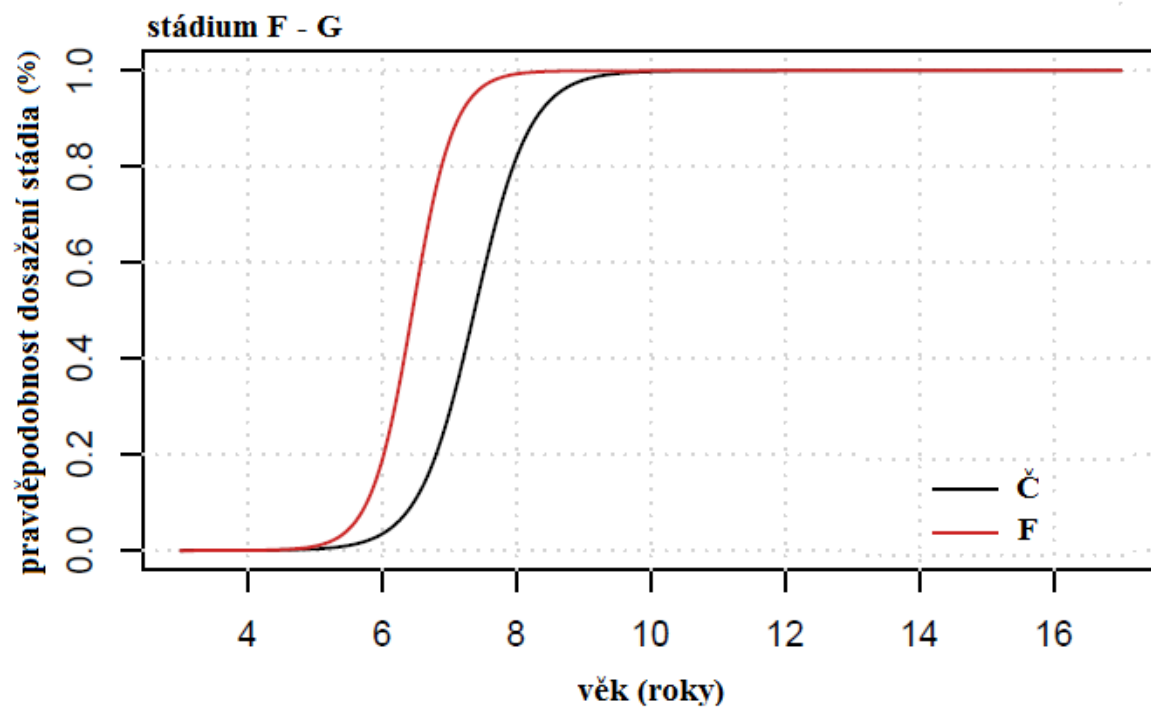
česká populace dívek															
stádium	I1		I2		C		P1		P2		M1		M2		
	věk	↓	↑	věk	↓	↑	věk	↓	↑	věk	↓	↑	věk	↓	↑
B															
C							4,99	3,40	6,59	4,80	3,00	7,02	4,73	4,38	5,08
D							6,60	5,00	8,20	6,12	4,29	7,95	5,91	3,98	7,83
E							8,51	6,84	10,15	7,34	5,11	9,57	8,05	6,48	9,62
F	5,17	4,07	6,26	4,17	3,00	5,55	7,22	8,35	9,28	9,28	7,27	11,29	9,79	8,35	11,24
G	6,55	5,54	7,56	6,29	5,18	7,39	9,92	8,54	11,29	11,82	9,38	14,26	12,39	10,9	13,88
H	8,69	7,10	10,27	9,74	7,66	11,81	12,97	10,34	15,59	13,71	11,58	15,84	10,39	12,63	-
francouzská populace dívek															
stádium	I1		I2		C		P1		P2		M1		M2		
	věk	↓	↑	věk	↓	↑	věk	↓	↑	věk	↓	↑	věk	↓	↑
B															
C															
D							5,20	4,15	6,24	5,72	4,57	6,88	5,67	4,20	7,13
E	4,54	3,44	5,65	4,76	3,35	6,17	6,20	5,24	7,15	7,05	4,72	9,39	8,77	6,86	10,68
F	5,55	4,78	6,32	6,35	5,16	7,53	7,69	8,46	10,22	9,46	7,17	11,75	10,08	8,20	11,96
G	7,18	6,41	7,95	7,79	6,62	8,96	10,03	8,07	11,99	10,51	9,27	13,91	11,35	9,42	13,27
H	8,38	6,48	10,28	9,91	8,02	11,8	12,52	10,28	14,96	13,94	10,85	-	15,60	12,43	-



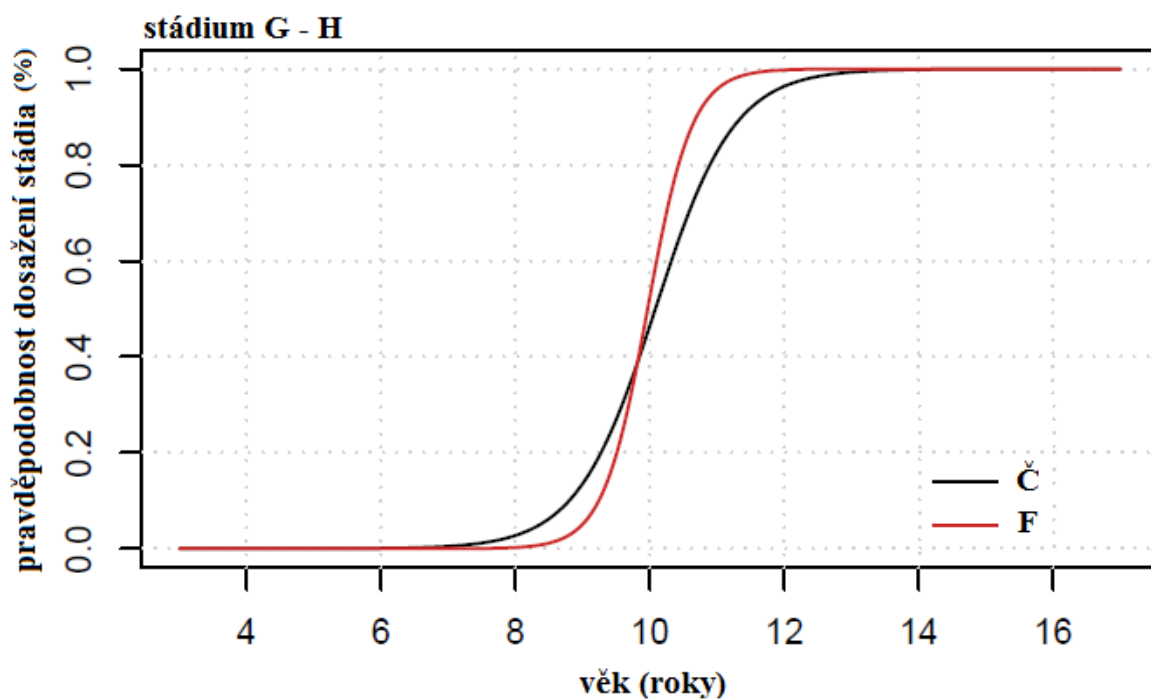
Graf 16. Přejchod D – E u M_1 – chlapci: česká populace (Č), francouzská populace (F).



Graf 17: Přejchod E – F u M_1 – chlapci: česká populace (Č), francouzská populace (F).



Graf 18. Přejchod F – G u M_1 – chlapci: česká populace (Č), francouzská populace (F)



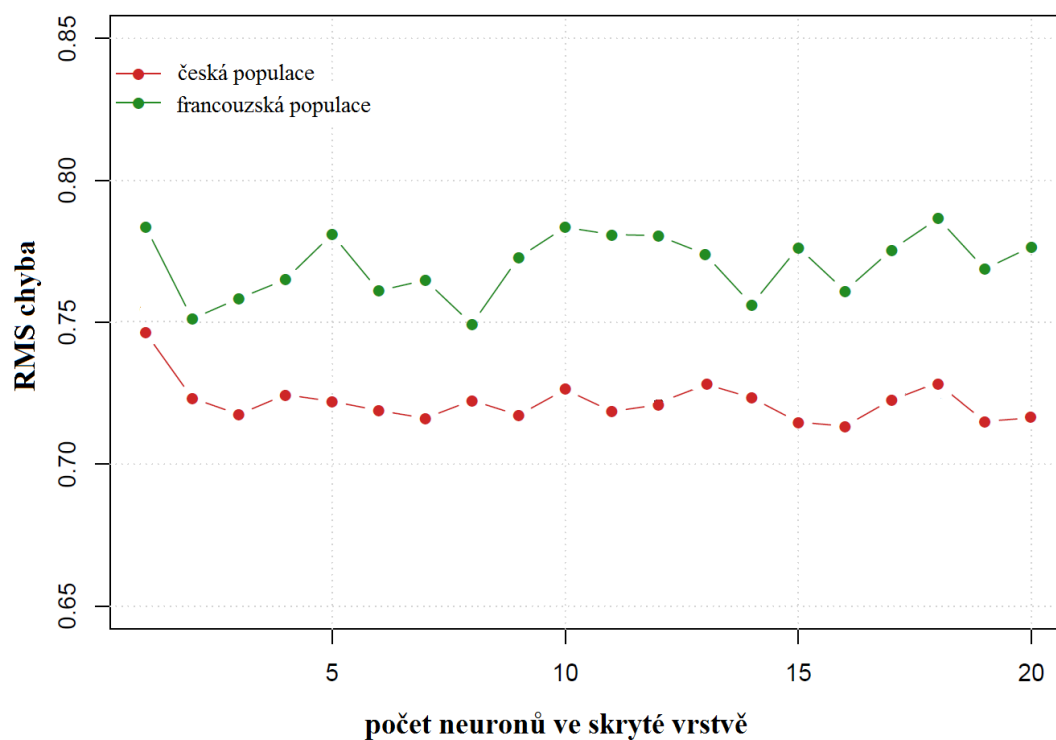
Graf 16: Přejchod G – H u M_1 – chlapci: česká populace (Č), francouzská populace (F).

6.4 Hodnocení mezipopulačních rozdílů pomocí neuronové sítě

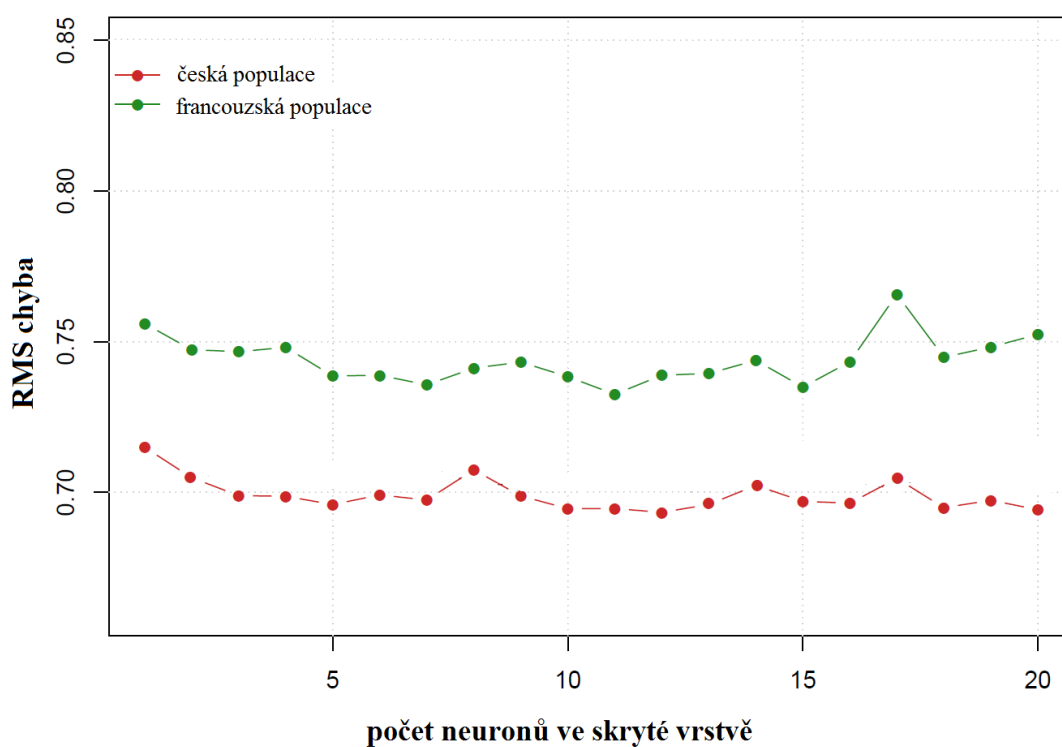
Rozdíly mezi oběma populacemi jsme se rozhodli testovat také pomocí neuronových sítí. Primárně nás zajímalo, jak budou ovlivněny výsledky predikce věku u jedné populace, pokud trénovací množinu tvoří data populace druhé. Zároveň jsme testovali, zda je úspěšnost predikce závislá na počtu neuronů ve skryté vrstvě. Úspěšnost predikce jsme vyjádřili formou RMS chyby. Výsledky analýzy jsou znázorněny v grafu 17 a 18 pro českou populaci dětí, v grafu 19 a 20 pro francouzské děti.

Ze všech grafů lze vyčíst, že pokud predikujeme věk u jiné populace, než kterou jsme použili pro učení sítě, je chyba odhadu konzistentně vyšší. Nejnížší RMS chyby bylo dosaženo v případě, že trénovací i testovací množinu tvořila data pouze jedné populace.

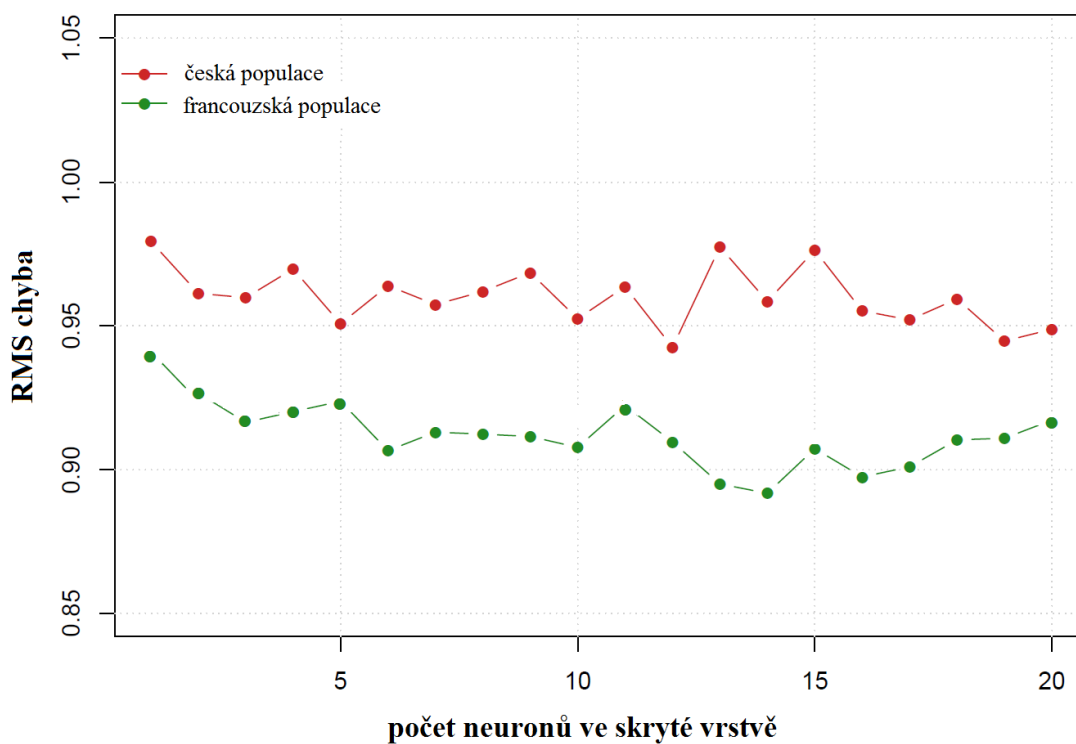
Zároveň jsme potvrdily, že hodnota RMS chyby je ovlivněna počtem neuronů ve skryté vrstvě sítě. Nejvyšší RMS chybu vykazovaly sítě pouze s jedním neuronem. U sítí s více neurony RMS chyba kolísala v nižších hladinách, nelze však vyhodnotit konkrétní trend závislosti.



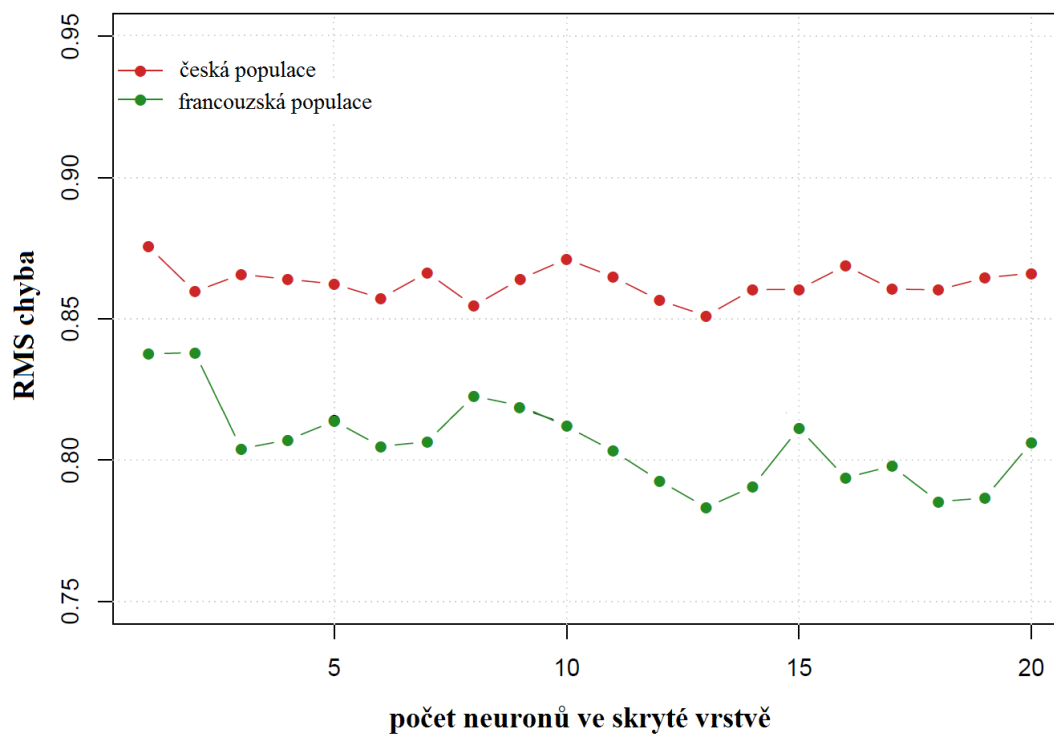
Graf 17. RMS chyba v závislosti na počtu neuronů ve skryté vrstvě a v závislosti na typu trénovací množiny dat – česká populace dívek.



Graf 18. RMS chyba v závislosti na počtu neuronů ve skryté vrstvě a v závislosti na typu trénovací množiny dat – česká populace chlapců.



Graf 19. RMS chyba v závislosti na počtu neuronů ve skryté vrstvě a v závislosti na typu trénovací množiny dat – *francouzská populace dívek*.



Graf 20. RMS chyba v závislosti na počtu neuronů ve skryté vrstvě a v závislosti na typu trénovací množiny dat – *francouzská populace chlapců*.

6.5 Hodnocení pohlavního dimorfismu v dentálním vývoji

Pohlavní dimorfismus ve vývoji chrupu jsme hodnotili na základě srovnání průměrného skóre zralosti u každé věkové skupiny chlapců a dívek. Pro testování statistické významnosti rozdílů jsme použili dvouvýběrový t-test, popřípadě neparametrický Mann-Whitneův test.

Vzhledem k faktu, že skóre zralosti je pro každé stádium zubu již pohlavně specifické, matematickým srovnáním průměrného skóre by byl skutečný pohlavní dimorfismus podhodnocen. Z tohoto důvodu jsme vytvořili pohlavně nespecifické skóre zralosti, které jsme získali zprůměrováním původního pohlavně specifického skóre.

Tabulka 23 a graf 14 ukazují výsledky hodnocení pohlavního dimorfismu u českých chlapců a dívek. Výsledky naznačují, že české dívky jsou v dentálním vývoji pokročilejší, jejich průměrné skóre zralosti nabývalo ve srovnání s chlapci vyšších hodnot. Výjimku představuje pouze 12. věková kategorie, ve které chlapci vykazovali vyšší průměrné skóre zralosti než dívky. Tento rozdíl však nebyl potvrzen jako signifikantní a lze ho vysvětlit tím, že v dané věkové kategorii je průměrný kalendářní věk u chlapců o 0,21 roku vyšší než u dívek. Statisticky významné rozdíly byly potvrzeny v 8., 9., 10., 11, 13. a 15. věkové kategorii.

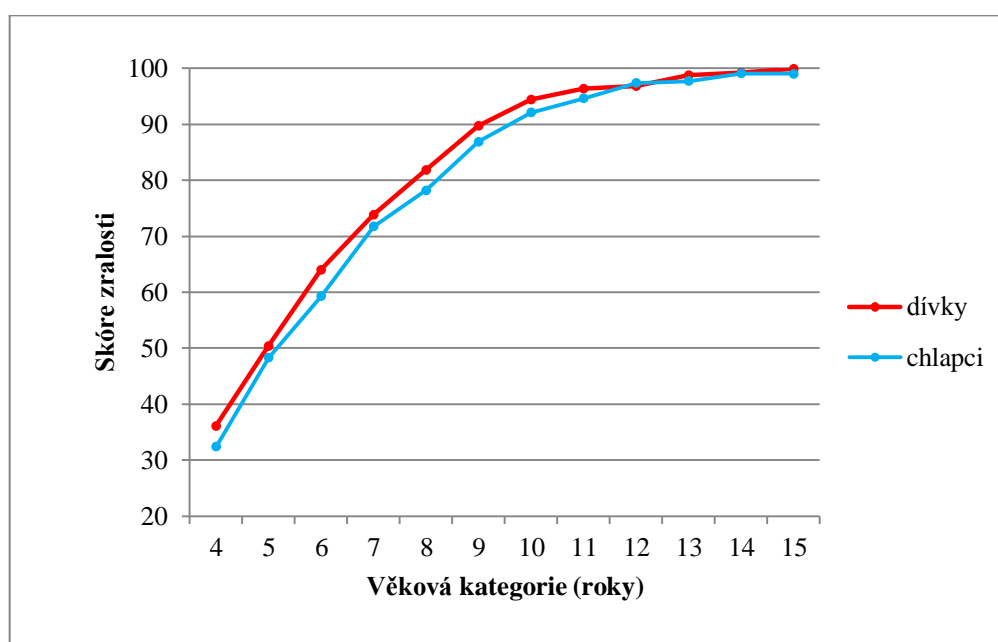
V tabulce 24 a grafu 15 můžeme vidět výsledky hodnocení pohlavního dimorfismu u francouzské populace. Ve většině věkových kategorií vykazovaly pokročilejší dentální vývoj dívky. Pouze ve 14. věkové kategorii bylo průměrné dentální skóre vyšší u chlapců. Tento rozdíl však nebyl signifikantní a lze jej opět odůvodnit vyšším průměrným kalendářním věkem chlapců v této věkové kategorii. Statisticky významné rozdíly byly potvrzeny v 8., 11., 12., a 13 věkové kategorii.

Pokročilejší dentální vývoj dívek lze rovněž demonstrovat na výsledcích logistické regrese. Výsledky statistické analýzy jsou shrnuty v tabulce 25 a 26 v podkapitole týkající se interpopulačních rozdílů v dentálním vývoji. Největší rozdíl byl u obou populací nalezen u stádia F, G a H špičáku. České dívky do těchto stádií vstupovaly s více než ročním předstihem. U francouzských dívek byl rozdíl menší, do stádia F vstupovaly o 0,72 roku dříve, do stádia G o 0,70 roku a do stádia H o 0,99 roku.

Tab. 23. Pohlavní rozdíly v dentálním vývoji – česká populace: Srovnání průměrného skóre zralosti se směrodatnou odchylkou (SD), výsledky dvouvýběrového testu (p)

věková kategorie (roky)	chlapci		dívky		rozdíl	
	průměrné skóre zralosti	(±SD)	průměrné skóre zralosti	(±SD)	rozdíl	p
4	32,39	(±4,56)	36,04	(±3,89)	3,65	0,109
5	48,32	(±8,53)	50,42	(±6,93)	2,10	0,515
6	59,28	(±8,04)	64,01	(±10,2)	5,90	0,059
7	71,78	(±6,11)	73,90	(±8,47)	1,12	0,310
8	78,23	(±6,22)	81,87	(±4,24)	3,64	0,003*
9	86,92	(±5,32)	89,75	(±4,42)	2,82	0,010*
10	92,15	(±2,41)	94,45	(±2,41)	2,30	0,002*
11	94,66	(±2,57)	96,39	(±1,77)	1,74	0,001*
12	97,41	(±0,85)	96,90	(±1,94)	-0,51	0,724
13	97,76	(±0,88)	98,77	(±0,86)	1,01	0,002*
14	99,09	(±0,72)	99,19	(±0,72)	0,10	0,622
15	99,04	(±0,83)	99,91	(±0,32)	0,87	0,006*

*p < 0,05

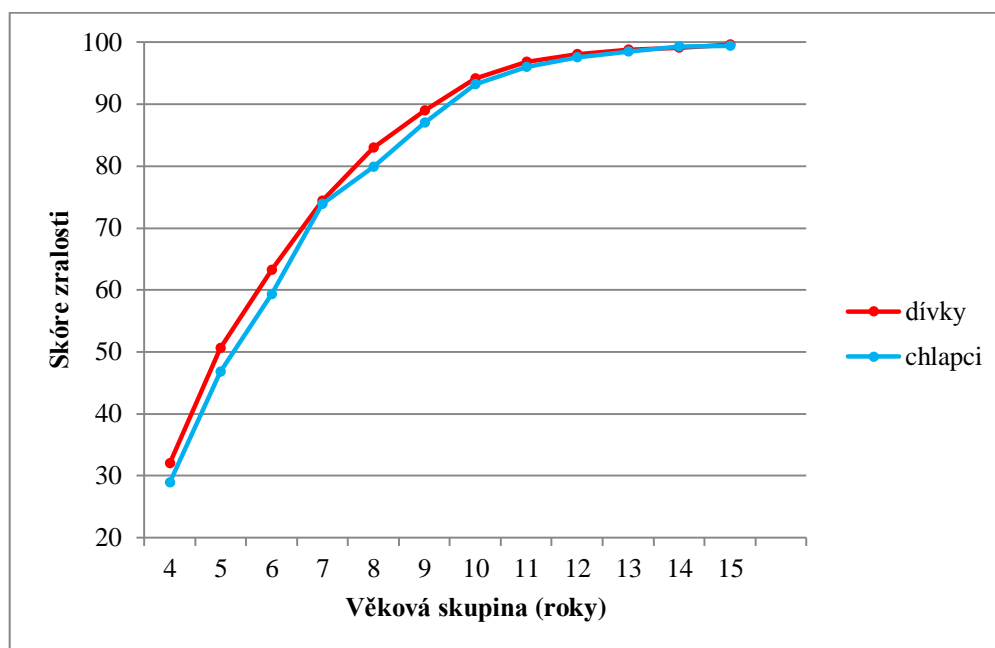


Graf 14. Pohlavní rozdíly v dentálním vývoji – česká populace.

Tab. 24. Pohlavní rozdíly v dentálním vývoji – *francouzská populace*: Srovnání průměrného skóre zralosti se směrodatnou odchylkou (SD) výsledky dvouvýběrového testu (p).

věková kategorie (roky)	chlapci		dívky		rozdíl	
	průměrné skóre zralosti	(±SD)	průměrné skóre zralosti	(±SD)	rozdíl	p
4	28,91	(±8,07)	31,99	(±7,74)	3,08	0,464
5	46,82	(±9,46)	50,65	(±12,72)	3,82	0,441
6	59,36	(±7,52)	63,28	(±6,71)	3,92	0,099
7	73,90	(±5,84)	74,42	(±6,13)	0,52	0,915
8	79,92	(±5,64)	82,94	(±5,82)	3,02	0,047*
9	87,06	(±5,29)	88,95	(±5,12)	1,90	0,068
10	93,20	(±4,20)	94,14	(±3,97)	0,94	0,144
11	96,03	(±2,04)	96,82	(±2,38)	0,79	0,001*
12	97,51	(±1,14)	98,03	(±0,95)	0,53	0,026*
13	98,43	(±0,88)	98,83	(±0,83)	0,39	0,032*
14	99,36	(±0,73)	99,14	(±0,67)	-0,22	0,296
15	99,37	(±0,60)	99,64	(±0,43)	0,27	0,059

*p < 0,05



Graf 15. Pohlavní rozdíly v dentálním vývoji – *francouzská populace*.

7. Diskuze

Hodnocení dentálního věku pomocí jednotlivých metod

Doposud byla pro odhad dentálního věku vypracována a popsána celá řada metod a principů. V 70. letech minulého století byla ve studii Demirjiana et al. (1973) představena metoda založená na hodnocení mineralizace 7 trvalých zubů levé poloviny dolní čelisti pomocí 8 stádií (Demirjian et al., 1973). Princip hodnocení dentice podle Demirjian et al. (1973) jsme uplatnili i v této diplomové práci. Pomocí navržených kritérií jsme hodnotili dentální vývoj u 716 českých a 743 francouzských dětí ve věku 4 až 15 let. Jeden z důvodů, proč jsme metodu zvolili, je její finanční a materiální nenáročnost a nedestruktivní charakter, jelikož vychází z hodnocení panoramatických RTG snímků chrupu bez nutnosti extrakce zubu. Řada studií mimo jiné potvrdila nízkou intra- i interobservační chybu při opakovaném hodnocení a tím ověřila reprodukovatelnost a opakovatelnost této metody (např. Hagg a Mattson, 1985; Nykänen et al., 1998; Nyström et al., 2000; Maber et al., 2006; Tunc a Koyuturk, 2008; Cruz-Landeira et al., 2010; Maia et al., 2010). My jsme rovněž před vlastním hodnocením vývoje dentice provedli opakované měření. Pro výpočet intraobservační chyby jsme použili Cohenův koeficient kappa. Cohenova kappa dosáhla celkové hodnoty 0,83 a u jednotlivých zubů se hodnoty pohybovaly v rozmezí 0,71 až 0,91. Výsledné hodnoty tak spadaly do kategorií „dobrá shoda“ až „téměř přesná shoda“, což je v souladu se závěry výše uvedených studií. Vysoký stupeň intraobservační shody můžeme přisoudit podrobnému popisu jednotlivých stádií na úrovni slovní i obrazové. Demirjianův systém hodnocení dentice pro stanovení dentálního věku byl ve své době prvním takto podrobně popsaným systémem vůbec. Z hlediska našeho hodnocení intraobservační chyby však musíme poukázat na relativně velké rozdíly hodnot koeficientu kappa mezi předními a zadními zuby. Nižší hodnoty koeficientů shody u frontálních zubů mohou podle nás souviset s panoramatickou technikou snímkování chrupu. Vizualizací zubních oblouků po snímkování dochází k jejich narovnání do plochy a to v oblasti špičáků, což snižuje čitelnost tohoto místa. Dalším vysvětlením by mohl být fakt, že ve frontálním úseku čelisti dochází k výraznějšímu zastínění zubů obratli páteře (Houba et al., 1999).

Studie Demirjian et al. (1973) kromě nového systému hodnocení poskytla i percentilové grafy a převodní tabulky pro odhad věku. Standardy byly vytvořeny na základě studie dentálního vývoje francouzsko-kanadské populace dětí narozených v letech 1957 až 1961. Později byly standardy mírně modifikovány díky zvýšení počtu

jedinců v souboru (Demirjian a Goldstein, 1976). Již v původní studii Demirjian et al. (1973) autoři naznačili, že tyto standardy nemusí být validní pro jiné populace. Z tohoto důvodu byly francouzsko-kanadské standardy testovány také u jiných populací a ze stejného důvodu jsme se rozhodli tyto standardy otestovat na francouzské a české populaci. Při použití francouzsko-kanadských standardů (Demirjian a Goldstein, 1976) jsme potvrdili systematické nadhodnocení věku jak u české, tak u francouzské populace, a to ve většině věkových kategorií. K podhodnocení věku došlo pouze v posledních věkových kategoriích. V českém souboru byl průměrný rozdíl mezi kalendářním a odhadovaným věkem u dívek i chlapců shodně 0,33 roku, ve francouzském souboru byl průměrný rozdíl vyšší, u dívek 0,45 roku a u chlapců 0,46 roku. Na základě těchto výsledků vyplývá, že obě recentní evropské populace jsou vůči francouzsko-kanadské populaci z počátku druhé poloviny 20. století v dentálním vývoji pokročilejší a k dosažení jednotlivých vývojových stádií u nich dochází v nižším věku. Naše závěry jsou v souladu s mnoha předchozími studiemi, které rovněž potvrdily konzistentní nadhodnocení věku (např. Nykänen et al., 1998; Koshy a Tandon, 1998; Liversidge et al., 1999; Nyström et al., 2000; Willems et al., 2001; Maber et al., 2006; Rózylo-Kalinowska et al., 2008; Tunc a Koyuturk, 2008; Gilbert et al. 2014). Nejvyšší nadhodnocení věku, které lze v odborné literatuře nalézt, potvrdila studie Koshy a Tandon (1998). V této studii byla Demirjianova metoda testována na indické populaci dětí ve věku 5 až 15 let. Metoda věk nadhodnotila u dívek o 2,82 roku, u chlapců dokonce o 3,04 roku (Koshy a Tandon, 1998). Nabízí se však otázka, zda takto extrémní výsledek nesouvisí spíše s nedostatečnou velikostí studovaného souboru, než s výrazně odlišným dentálním vývojem indické populace.

Přestože Hagg a Mattson ve své studii (1985) prokázali, že Demirjianova metoda vykazuje vyšší přesnost odhad v nižších věkových kategoriích (Hagg a Mattson, 1985), naše výsledky těmto závěrům odporují. K největšímu nadhodnocení věku došlo v případě české populace v 5. věkové kategorii, ve které byl věk signifikantně nadhodnocen u dívek o 0,75 roku, u chlapců o 1,05 roku. U francouzské populace byla nejvyšší diskrepance pozorována u chlapců v 6. věkové kategorii, kde dosáhla průměrné hodnoty 0,95 roku. V nejmladších věkových kategoriích potvrdily nejvyšší rozdíl mezi skutečným a odhadovaným věkem i jiné studie (Liversidge et al., 1999; Tunc a Koyuturk, 2008; Celik et al., 2014). Tyto závěry podporují tvrzení autorů longitudinální studie Loevy a Goldberg (1999), že u dětí mladších 6 let nelze přesně predikovat průběh a rychlost vývoje (Loevy a Goldberg, 1999). Dalším vysvětlením by mohl být nižší počet jedinců v mladších

věkových kategoriích, který tak mohl ovlivnit výsledek hodnocení spolehlivost metody. Z technických, právních i etických důvodů není vždy možné získat RTG snímky chrupu takto malých dětí (Veleminska et al., 2013).

Za účelem zvýšení přesnosti odhadu věku byla vytvořena celá řada nových populačně specifických standardů, přičemž princip původní metody navržené ve studii Demirjian et al. (1973) zůstal zachován. Hovoříme tak o modifikacích Demirjianovy metody. Jednu z modifikací provedl na základě studie dentálního vývoje belgických dětí Willems et al. (2001). Jelikož se jedná rovněž o recentní evropskou populaci, rozhodli jsme se tyto zrevidované standardy otestovat i na našem populačním vzorku. Tuto metodu jsme zvolili také z toho důvodu, že nejsou zapotřebí žádné percentilové grafy ani převodní tabulky, protože celkové skóre zralosti je vyjádřeno přímo v hodnotách věku.

Willemsova metoda nevykazovala u českého ani francouzského souboru na rozdíl od Demirjianovy metody konzistentní nadhodnocení věku. Celkový průměrný rozdíl mezi dentálním a chronologickým věkem byl u obou populací výrazně nižší. U české populace byl průměrný rozdíl u dívek -0,04 roku, u chlapců 0,08 roku, respektive u francouzské populace 0,09 a 0,14 roku. Srovnání celkového průměrného rozdílu popřípadě mediánu rozdílu mezi oběma metodami je ovšem zavádějící. Zatímco Demirjianova metoda vykazovala již zmíněné konzistentní nadhodnocení, Willemsova metoda vykazovala v mladších věkových kategoriích nadhodnocení věku a ve starších věkových kategoriích věk spíše podhodnocovala. Z tohoto důvodu je vhodnější srovnávat spolehlivost metod pomocí celkové RMS chyby popřípadě absolutní chyby odhadu, které na rozdíl od mediánu či průměru nezohledňují směr chyby (Lee et al., 2011). Na základě srovnání celkové RMS chyby jsme potvrdili, že Willemsova metoda odhadovala věk v porovnání s Demirjianovou metodou spolehlivěji u obou populací. Totéž prokázaly další studie, které analyzovaly a srovnávaly spolehlivost Willemsovy i Demirjianovy metody (např. Maber et al., 2006; Lee et al., 2011; Ambarkova et al., 2014). Nejvýrazněji se snížení chyby odhadu projevilo u francouzských dívek. V jejich případě byly signifikantní rozdíly mezi dentálním a chronologickým věkem potvrzeny pouze v 6., 14. a 15. věkové kategorii. Tuto skutečnost bychom mohli zdůvodnit geografickou popřípadě genetickou blízkostí belgické a francouzské populace. Chaillet et al. (2005) srovnávali dentální vývoj mezi populacemi ze 7 států světa, včetně Belgie a Francie. U jedinců ve věku 5 až 16 let nepotvrdili v dentálním vývoji mezi těmito dvěma populacemi signifikantní rozdíl (Chaillet et al.,

2005). Výsledky hodnocení spolehlivosti Willemsovy metody u francouzských chlapců však tuto hypotézu zcela nepodporují.

V posledních letech výrazně vzrostla popularita data miningových metod, mezi které se řadí i neuronové sítě. Přestože se metoda neuronových sítí ukázala být velmi dobrým predikčním nástrojem v komerčních i lékařských oborech (např. Baxt, 1995; Bottaci et al., 1997; Malhotra a Malhotra, 2003), odhadem dentálního věku pomocí této metody se doposud zabývala pouze jediná studie (Veleminska et al., 2013). V této studii byla na souboru českých dětí ve věku 3 až 17 let testována přesnost odhadu věku s použitím klasických statistických metod i metody neuronových sítí, přičemž metoda neuronových sítí vykazovala v porovnání s klasickými metodami nejvyšší přesnost odhadu věku. Ačkoliv jsme v naší studii prokázali, že metoda neuronových sítí vykazuje oproti zbylým dvou testovaným metodám nejnižší celkovou RMS chybu odhadu, náš předpoklad o zpřesnění odhadu věku s použitím této metody byl naplněn pouze částečně, jelikož ke snížení chyby odhadu nedošlo ve všech věkových kategoriích. Párový t-test srovnávající absolutní chyby odhadu jednotlivých metod rovněž prokázal, že rozdíl mezi absolutní chybou odhadu metody neuronových sítí a Willemsovy metody není statisticky významný.

Neuronové sítě tedy můžeme považovat za jeden z možných způsobů predikce dentálního věku, jejich přesnost predikce je ovšem srovnatelná s klasickými metodami. Za výhodu těchto metod můžeme považovat rychlost, se kterou k predikci věku dochází. Oproti předchozím metodám nejsou zapotřebí žádné převodní tabulky. Do patřičného počítačového programu stačí pouze zadat daná vývojová stádia a systém do několika sekund vyhodnotí kombinaci zadaných stádií a stanoví pravděpodobný věk. Nevýhodou metody je však její uživatelská náročnost, jelikož se jedná o vysoce komplexní systém umělé inteligence.

Hodnocení mezipopulačních rozdílů

Do dnešní doby nepanuje jednotný názor ohledně toho, jaký vliv má na dentální vývoj populační příslušnost. Většina studií se přiklání k názoru, že pro účely hodnocení zubního věku jsou zapotřebí populačně specifické standardy (např. Willems et al., 2001; Tunc a Koyuturk, 2008; Maia et al., 2010; Kirzioglu a Ceyhan, 2012). Na druhé straně je názor Liversidge et al. (2006), kteří předpokládají, že pro odhad věku postačuje jediný standard, popřípadě atlas (Liversidge et al., 2006). Liversidge et al. (2006) porovnávali pomocí logistické regrese dentální vývoj u 8 recentních populací z Evropy, Asie a Severní

Ameriky. Statisticky významné rozdíly byly potvrzeny u 13 % stádií, což podle autorů studie nepředstavuje výraznou mezipopulační odlišnost v procesu mineralizace chrupu, a proto není zapotřebí vytvářet populačně specifické standardy.

Podle autorů této studie lze výrazné nadhodnocení věku v případě použití původních francouzsko-kanadských standardů (Demirjian a Goldstein, 1976) u jiných populací vysvětlit pozitivním sekulárním trendem, který působil na růst a vývoj v posledních desetiletích (Liversidge et al., 2006). Pro srovnání dentálního vývoje mezi recentní francouzskou a českou populací jsme rovněž použili logistickou regresi. U dívek byl signifikantní rozdíl nalezen v 29 % případů, u chlapců v 38 %. Statisticky významné rozdíly byly potvrzeny nejčastěji ve stádiích G a H, přičemž do většiny stádií vstupovaly dříve francouzské děti. V případě stádií korunky jsme žádné statisticky významné rozdíly ve vývoji nepotvrdili. To podporuje závěr studie Reid a Dean (2006). Autoři na základě histologických analýz prokázali, že délka tvorby korunky vykazuje mezi různými populacemi (severoevropané a jihoafričané) velmi nízkou variabilitu.

Námi potvrzené rozdíly se projevily i při testování jednotlivých metod. Jako příklad uvádíme statisticky významné nadhodnocení věku při použití belgických standardů u francouzských chlapců v 10. věkové kategorii průměrně o 0,47 roku a statisticky nevýznamné nadhodnocení věku u českých chlapců o 0,06 věku. Z tohoto důvodu se přikláníme k názoru ostatních autorů (např. Willems et al., 2001; Tunc a Koyuturk, 2008; Maia et al., 2010; Kirzioglu a Ceyhan, 2012), že interpopulační rozdíly v dentálním vývoji existují, nelze je zanedbat, a proto doporučujeme pro českou a francouzskou populaci vytvořit specifické standardy pro odhad věku. Interpopulační variabilitu jsme potvrdili rovněž při predikci věku pomocí neuronových sítí.

Je zapotřebí podotknout, že je obtížné posoudit, zda všechny námi potvrzené rozdíly jsou projevem pouze odlišné populační afinity. Přestože jsou zuby a jejich vývoj v období dětství a dospívání oproti jiným věkovým indikátorům odolnější vůči působení faktorů vnějšího prostředí (AlQuahtani et al., 2010), interindividuální variabilita dentálního vývoje existuje a nelze ji nijak eliminovat. Studie zabývající se procesem růstu a vývoje dentice u monozygotních a dizygotních dvojčat to potvrzují (Pelsmaekers et al., 1997; Pechníková et al., 2012). Ačkoliv mají monozygotní dvojčata stejnou genetickou výbavu a jsou vystavena stejným faktorům prostředí, průměrná rozdílnost v dentálním věku může být až půl roku, maximální rozdíl dokonce až dva roky (Pechníková et al., 2012). Vytvoření

populačně specifických standardů a jejich testování u obou populací by tedy mohlo být předmětem budoucího výzkumu.

Řada studií prokázala zvýšení přesnosti odhadu věku s použitím populačně specifických standardů (např. Willems et al., 2001; Cameriere et al., 2008) některé však přišly s překvapivými závěry (např. Lee et al., 2011; Baghdadi, 2013). Studie Baghdadi (2013) srovnávala validitu 9 populačně specifických standardů u saudsko-arabské populace dětí. Zatímco u chlapců vykazoval nejnižší absolutní chybu odhadu originální saudsko-arabský standard, u dívek poskytoval nejpřesnější odhad věku standard vytvořený na polské populaci (Baghdadi, 2013). Studie Lee et al. (2001) testovala spolehlivost Demirjianovy metody včetně jejich modifikací u populace korejských dětí. Willemsova metoda (Willems et al., 2001) poskytla přesnější odhad věku než Korejská metoda, tedy populačně specifické standardy vytvořené pro korejské děti (Lee et al., 2001). Na základě těchto výsledků lze tedy usoudit, že interpopulační variabilita má na dentální vývoj vliv, nicméně není jediným ovlivňujícím faktorem.

Hodnocení pohlavního dimorfismu v dentálním vývoji

Při hodnocení normality vývoje jedince nelze opomenout intersexuální variabilitu vývoje. Proto jsme se v této práci rovněž zaměřili na pohlavní rozdíly v mineralizaci chrupu. Srovnáním průměrného dentálního skóre v jednotlivých věkových kategoriích jsme zjistili, že dívky vykazují oproti chlapcům urychlený dentální vývoj. Téměř ve všech věkových kategoriích dosahovaly dívky vyšších hodnot průměrného skóre zralosti než chlapci. Náš výsledek je v souladu se závěry dalších studií, které rovněž potvrdily pokročilejší dentální vývoj dívek (např. Farah et al., 1999; Nyström et al., 2000; Chaillet et al., 2004; Chaillet et al., 2005). Pro účely srovnání jsme použili pohlavně nespecifické skóre, jak bylo navrženo ve studii Nyström et al. (2000). Pokud bychom toto doporučení nerespektovali a použili pohlavně specifická skóre, skutečný pohlavní dimorfismus by byl podhodnocen a výsledek srovnání zavádějící, jak prokázaly a upozornily jiné studie (např. Nyström et al., 2000; Chaillet et al., 2005).

Trend pokročilejšího vývoje dívek jsme potvrdily i na základě výsledků logistické regrese. Největší pohlavní dimorfismus vykazoval u obou populací špičák. Chlapci vstupovali do posledního stádia tohoto zubu přibližně s ročním zpožděním, v případě české populace o 1,08 roku, v případě francouzské o 0,99 roku. Největší intersexuální rozdíly u špičáku potvrdily i další studie, míra pohlavního dimorfismu se ovšem v jednotlivých

populacích liší (Demirjian a Levesque, 1980; Liversidge, 2006; Tunc a Koyuturk, 2008). Francouzsko-kanadská studie Demirjian a Levesque (1980) i turecká studie Tunc a Koyturk (2008) potvrdily u stádia H špičáku mezipohlavní rozdíl 1,2 roku, respektive 1,28 roku. Liversidge et al. (2006) srovnávala dentální vývoj u více než osmi tisíc chlapců a dívek z 8 států světa a bylo potvrzeno, že dívky vstupovaly do posledního stádia špičáku s předstihem 1,51 roku (Liversidge et al., 2006). Jako jedna z možných příčin pokročilejšího dentálního vývoje u dívek se uvádí sexuální dimorfismus ve velikosti zubů. Zuby chlapců jsou obecně větší než zuby dívek, proto je u chlapců pro dosažení daného vývojového stádia zapotřebí delší časový interval (Blenkin, 2005).

8. Závěr

V této diplomové práci jsme se zabývali odhadem věku na základě hodnocení mineralizace trvalého chrupu u recentní české a francouzské populace dětí ve věku 4 až 15 let. Práce si kladla za cíl u obou evropských populací otestovat spolehlivost Demirjianovy metody (Demirjian a Goldstein, 1976) a Willemsovy metody (Willems et al., 2001), a zároveň analyzovat přesnost odhadu věku s použitím metody neuronových sítí. Vyhodnoceny byly rovněž interpopulační a intersexuální rozdíly v rámci dentálního vývoje. Z naší studie vyplývá:

- 1) Demirjianova metoda dentální věk u obou populací systematicky nadhodnocovala. V českém souboru byl průměrný rozdíl mezi skutečným a odhadovaným věkem u dívek i chlapců 0,33 roku. Ve francouzském souboru byl průměrný rozdíl u dívek 0,45 roku a u chlapců 0,46 roku. Ve srovnání s Willemsovou metodou a metodou neuronových sítí tato metoda poskytovala nejméně přesný odhad věku.
- 2) Willemsova metoda i metoda neuronových sítí chybu odhadu snížila u obou populací. S použitím Willemsovy metody byl průměrný rozdíl mezi skutečným a odhadovaným věkem u českých dívek -0,04 roku, u chlapců 0,08 roku, u francouzských dívek 0,09 roku, u chlapců 0,14 roku. V případě metody neuronových sítí byl průměrný rozdíl u obou populací menší než 0,001 roku. Vzájemné testování absolutní chyby odhadu mezi Willemsovou metodou a metodou neuronových sítí však neprokázalo statisticky významný rozdíl a nelze tedy potvrdit naši hypotézu, že metoda neuronových sítí je ze všech tří metod nejpřesnější.
- 3) V dentálním vývoji jsme prokázali statisticky významné rozdíly, a proto doporučujeme vytvořit populačně specifické standardy pro obě evropské populace.
- 4) U obou sledovaných populací byly potvrzeny statisticky významné intersexuální rozdíly ve vývoji chrupu. Dívky vykazovaly oproti chlapcům urychlený dentální vývoj. Největší pohlavní dimorfismus vykazoval u obou populací špičák.

9. Seznam použité literatury

- Acerbi A, De Freitas C, Gallottini MH. 2001. Prevalence of numeric anomalies in the permanent dentition of patients with Down syndrome. *Spec Care Dentist* 21:75–78.
- Adali T, Koç I. 2011. Menarcheal age in Turkey: secular trend and socio-demographic correlates. *Ann Hum Biol* 38:345–53.
- Aggarwal P, Saxena S, Bansal P. 2008. Incremental lines in root cementum of human teeth: an approach to their role in age estimation using polarizing microscopy. *Indian J Dent Res* 19:326–30.
- Acharya AB, Kumar KK. 2011. Age estimation in Indians from extracted unsectioned teeth. *Forensic Sci Int* 212:275.e1–5.
- Acharya AB. 2011. Accuracy of predicting 18 years of age from mandibular third molar development in an Indian sample using Demirjian's ten-stage criteria. *Int J Leg Med* 125:227–33.
- Akhlaghi M, Taghaddosinejad F, Sheikhzadi A, Valizadeh B, Shojaei SMR. 2010. Age-at-death estimation based on the macroscopic examination of spheno-occipital sutures. *J Forensic Leg Med* 17:304–8.
- Alaluusua S, Calderara P, Gerthoux PM, Lukinmaa P-L, Kovero O, Needham L, Patterson DG, Tuomisto J, Mocarelli P. 2004. Developmental dental aberrations after the dioxin accident in Seveso. *Environ Health Persp* 112:1313–18.
- Al-Emran S. 2008. Dental age assessment of 8.5 to 17 Year-old Saudi children using Demirjian's method. *J Contemp Dent Pract* 9:64–71.
- AlQahtani SJ, Hector MP, Liversidge HM. 2010. Brief communication: The London atlas of human tooth development and eruption. *Am J Phys Anthropol* 142:481–90.
- Alvarez J. 1995. Nutrition, tooth development, and dental caries. *Am J Clin Nutr* 61:410–6.
- Ambarkova V, Galić I, Vodanović M, Biočina-Lukenda D, Brkić H. 2014. Dental age estimation using Demirjian and Willems methods: cross sectional study on children from the Former Yugoslav Republic of Macedonia. *Forensic Sci Int* 234:187.e1–7.
- Amoroso A, Garcia SJ, Cardoso HF V. 2014. Age at death and linear enamel hypoplasias: testing the effects of childhood stress and adult socioeconomic circumstances in premature mortality. *Am J Hum Biol* 26:461–8.
- Arany S, Ohtani S, Yoshioka N, Gonmori K. 2004. Age estimation from aspartic acid racemization of root dentin by internal standard method. *Forensic Sci Int* 141:127–30.
- Araújo A, Pontual M. 2010. Association between mineralization of third molars and chronological age in a Brazilian sample. *Rev Odonto Ciênc* 25:391–4.
- Ardakani F, Bashardoust N, Sheikhha M. 2007. The accuracy of dental panoramic radiography as an indicator of chronological age in Iranian individuals. *J Forensic Odontostomatol* 25:30–5.

- Armstrong JS. 2001. Evaluating forecasting methods. In: Armstrong JS, editor. Principles of forecasting: A handbook for researchers and practitioners. Norwell: MA7 Kluwer Academic Publishers. (citováno podle Hyndman a Koehler, 2006).
- Babshet M, Acharya AB, Naikmasur VG. 2010. Age estimation in Indians from pulp/tooth area ratio of mandibular canines. *Forensic Sci Int* 197:125.e1–4.
- Baccetti T, Franchi L, McNamara JA. 2005. The cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of optimal treatment timing in dentofacial orthopedics. *Semin Orthod* 11:119–29.
- Baghdadi Z. 2013. Dental maturity of Saudi children: Role of ethnicity in age determination. *Imaging Sci Dent* 43:267–72.
- Bagherian A, Sadeghi M. 2011. Assessment of dental maturity of children aged 3,5 to 13,5 years using the Demirjian method in an Iranian population. *J Oral Sci* 53:37–42.
- Bai Y, Mao J, Zhu S, Wei W. 2008. Third-molar development in relation to chronologic age in young adults of central China. *J Huazhong Univ Sci Technolog Med Sci* 28:487–90.
- Bailleul-Forestier I, Berdal A, Vinckier F, De Ravel T, Fryns JP, Verloes A. 2008b. The genetic basis of inherited anomalies of the teeth. Part 2: syndromes with significant dental involvement. *Eur J Med Genet* 51:383–408.
- Bailleul-Forestier I, Molla M, Verloes A, Berdal A. 2008a. The genetic basis of inherited anomalies of the teeth. Part 1: clinical and molecular aspects of non-syndromic dental disorders. *Eur J Med Genet* 51:273–91.
- Baxt WG. 1995. Application of artificial neural networks to clinical medicine. *Lancet* 346:1135–38.
- Bernhard W, Glocker C. 1995. New investigations on the question of secular acceleration of permanent dentition, *Zeitschrift fur Morphologie und Anthropologie* 81:111–23. (citováno podle Foti et al., 2003).
- Bettendorf M. 2002. Thyroid disorders in children from birth to adolescence. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 29 Suppl:S439–46.
- Blajerová M. 1970. Určování individuálního věku na skeletech dětí a dospívajících jedinců. *Archeologické rozhledy* 22:159–68.
- Blankenship J, Mincer HH, Anderson KM, Woods M, Burton EL. 2007. Third molar development in the estimation of chronologic age in american blacks as compared with whites. *J Forensic Sci* 52:428–33.
- Blenkin M, Taylor J. 2012. Age estimation charts for a modern Australian population. *Forensic Sci Int* 221:106–12.
- Blenkin MRB. 2005. Forensic Dentistry and its application in age estimation from the teet using a modified Demirjian system. Master thesis. Sydney: University of Sydney.

- Bloch-Zupan A, Jamet X, Etard C, Laugel V, Muller J, Geoffroy V, Strauss J-P, Pelletier V, Marion V. 2011. Homozygosity mapping and candidate prioritization identify mutations, missed by whole-exome sequencing, in SMOC2, causing major dental developmental defects. *Am J Hum Genet* 89:773–81.
- Boccone S, Micheletti Cremasco M, Bortoluzzi S, Moggi-Cecchi J, Rabino Massa E. 2010. Age estimation in subadult Egyptian remains. *Homo* 61:337–58.
- Bolaños M V, Manrique MC, Bolaños MJ, Briones MT. 2000. Approaches to chronological age assessment based on dental calcification. *Forensic Sci Int* 110:97–106.
- Bottaci L, Drew PJ, Hartley JE, Hadfield MB, Farouk R, Lee PWR, Macintyre IMC, Duthie GS, Monson JRT. 1997. Artificial neural networks applied to outcome prediction for colorectal cancer patients in separate institutions. *Lancet* 350:469–72.
- Boyacioglu MA, Kara Y, Baykan ÖK. 2009. Predicting bank financial failures using neural networks, support vector machines and multivariate statistical methods: A comparative analysis in the sample of savings deposit insurance fund (SDIF) transferred banks in Turkey. *Expert Syst Appl* 36:3355–66.
- Braga J, Heuze Y, Chabadel O, Sonan NK, Gueramy A. 2005. Non-adult dental age assessment: correspondence analysis and linear regression versus Bayesian predictions. *Int J Leg Med* 119:260–74.
- Burt NM, Sauer N, Fenton T. 2011. Testing the Demirjian and the international Demirjian dental aging methods on a mixed ancestry urban American subadult sample from Detroit, MI. *J Forensic Sci* 56:1296–301.
- Buzon MR. 2006. Health of the non-elites at Tombos: Nutritional and disease stress in New Kingdom Nubia. *Am J Phys Anthropol* 130:26–37.
- Cameriere R, De Luca S, Biagi R, Cingolani M, Farronato G, Ferrante L. 2012. Accuracy of three age estimation methods in children by measurements of developing teeth and carpals and epiphyses of the ulna and radius. *J Forensic Sci* 57:1263–70.
- Cameriere R, Ferrante L, Cingolani M. 2004. Variations in pulp/tooth area ratio as an indicator of age: a preliminary study. *J Forensic Sci* 449:317–9.
- Cameriere R, Ferrante L, Cingolani M. 2006. Age estimation in children by measurement of open apices in teeth. *Int J Legal Med* 120:49–52.
- Cameriere R, Ferrante L. 2008. Age estimation in children by measurement of carpals and epiphyses of radius and ulna and open apices in teeth: a pilot study. *Forensic Sci Int* 174:60–3.
- Cardoso H. 2007. Environmental effects on skeletal versus dental development: using a documented subadult skeletal sample to test a basic assumption in human osteological. *Am J Phys Anthropol* 233:223–33.
- Cardoso HF V, Heuzé Y, Júlio P. 2010. Secular change in the timing of dental root maturation in Portuguese boys and girls. *Am J Hum Biol* 22:791–800.

- Carroll MKO, Duncan WK, Perkins TM. 1991. Dentin dysplasia: review of the literature and a proposed subclassification based on radiographic findings. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 72:119.e125.
- Cavalaars A, Kunst A. 2000. Persistent variations in average height between countries and between socio-economic groups: an overview of 10 European countries. *Ann Hum Biol* 27:407–21.
- Celik S, Zeren C, Celikel A, Yengil E, Altan A. 2014. Applicability of the Demirjian method for dental assessment of southern Turkish children. *J Forensic Leg Med* 25:1–5.
- Cichocka BA, Woronkiewicz A, Kowal M, Sobiecki J, Palosz J, Madrzak E. 2009. Emergence of permanent teeth: secular trends in the population of prteschool children from Kraków (Poland) in 1952–2007 – preliminary researsch. *Pediatrica Polska* 84:251–5. (pouza abstrakt).
- Cohen J. 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educat Psychol Measurement* 20:37–46.
- Collins M, Mauriello S. 1999. Dental anomalies associated with amelogenesis imperfecta: a radiographic assessment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 88:358–64.
- Conceição ELN, Cardoso HF V. 2011. Environmental effects on skeletal versus dental development II: further testing of a basic assumption in human osteological research. *Am J Phys Anthropol* 144:463–70.
- Coppa A, Manni F, Stringer C, Vargiu R, Vecchi F. 2007. Evidence for new Neanderthal teeth in Tabun Cave (Israel) by the application of self-organizing maps (SOMs). *J Hum Evol* 52:601–13.
- Corsini MM, Schmitt A, Bruzek J. 2005. Aging process variability on the human skeleton: artificial network as an appropriate tool for age at death assessment. *Forensic Sci Int* 148:163–7.
- Cruz-Landeira A, Linares-Argote J, Martínez-Rodríguez M, Rodríguez-Calvo MS, Otero XL, Concheiro L. 2010. Dental age estimation in Spanish and Venezuelan children. Comparison of Demirjian and Chaillet's scores. *Int J Legal Med* 124:105–12.
- Cunha E, Baccino E, Martrille L, Ramsthaler F, Prieto J, Schuliar Y, Lynnerup N, Cattaneo C. 2009. The problem of aging human remains and living individuals: a review. *Forensic Sci Int* 193:1–13.
- Čihák R. 2002. *Anatomie 2*, 2. vydání. Praha: Grada Publishing.
- Dang T, Diep K. 2010. Thyroid cartilage ossification and multislice computed tomography examination: A useful tool for age assessment? *J Forensic Sci* 55:677–83.
- De Donno A, Roca R, Introna F, Santoro V. 2013. A case of an adoptive girl with precocious puberty: the problem of age estimation. *Forensic Sci Int* 231:400.e1–4.
- Demirjian A, Goldstein H, Tanner J. 1973. A new system of dental age assessment. *Hum Biol* 2:211–27.
- Demirjian A, Goldstein H. 1976. New systems for dental maturity based on seven and four teeth. *Annals of human biology* 3:411–21.

- Demirjian A, Levesque GY. 1980. Sexual differences in dental development and prediction of emergence. *J Dent Res* 59:1110–22.
- Devito KL, de Souza Barbosa F, Filho WNF 2008. An artificial multilayer perceptron neural network for diagnosis of proximal dental caries. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol Endod.* 106, 879–84.
- Dobisíková M. 1999. Určování věku. In Stloukal M et al.. *Antropologie. Příručka pro studium kostry*. Praha: Národní muzeum.
- Eid RMR, Simi R, Friggi MNP, Fisberg M. 2002. Assessment of dental maturity of Brazilian children aged 6 to 14 years using Demirjian's method. *Int J Paediatr Dent* 12:423–8.
- Elamin F, Liversidge HM. 2013. Malnutrition has no effect on the timing of human tooth formation. *PLoS ONE* 8:e72274.
- Ersoy B, Balkan C. 2005. The factors affecting the relation between the menarcheal age of mother and daughter. *Child Care Health Dev* 31:303–9.
- Falys CG, Prangle D. 2015. Estimating age of mature adults from the degeneration of the sternal end of the clavicle. *Am J Phys Anthropol* 156:203–14.
- Farah CS, Booth DR, Knott SC. 1999. Dental maturity of children in Perth, Western Australia, and its application in forensic age estimation. *J Forensic Leg Med* 6:14–8.
- Fayyad U, Piatetsky-Shapiro G, Smyth P. 1996. From data mining to knowledge discovery in databases. *AI Mag* 17:37–54.
- Flood SJ, Franklin D, Turlach B, McGeachie J. 2013. A comparison of Demirjian's four dental development methods for forensic age estimation in South Australian sub-adults. *J Forensic Leg Med* 20:875–83.
- Foti B, Lalys L, Adalian P, Giustiniani J, Maczel M, Signoli M, Dutour O, Leonetti G. 2003. New forensic approach to age determination in children based on tooth eruption. *Forensic Sci Int* 132:49–56.
- Frucht S, Schnegelsberg C, Schulte-mönting J, Rose E, Jonas I. 2000. Dental Age in Southwest Germany: A radiographic Study. *J Orofac Orthop* 29:318–29.
- Garamendi PM, Landa MI, Ballesteros J, Solano MA. 2005. Reliability of the methods applied to assess age minority in living subjects around 18 years old. A survey on a Moroccan origin population. *Forensic Sci Int* 154:3–12.
- Garn SM, Nagy JM, Sandusky ST, Trowbridge F. 1973. Economic impact on tooth emergence. *Am J Phys Anthropol* 39:233–7.
- Gatta EA. 2008. Primary teeth emergence in relation to nutritional status among 4-48 months old children in Baghdad city. *MDJ* 5:62–70.
- Gaur R, Kumar P. 2012. Effect of undernutrition on deciduous tooth emergence among Rajput children of Shimla District of Himachal Pradesh, India. *Am J Phys Anthropol* 148:54–61.

- Gehring KD, Haffner HT, Weber D, Graw M. 2002. Investigations on the reliability of determining an individual's age from the proximal femur. *Homo* 52:214–20.
- Gilbert C, Fairgrieve SI, Keenan SC. 2014. A Test of the Demirjian method of dental ageing using a mixed population sample from Northern Ontario. *J Canadian Soc Forensic Sci* 47:1–19.
- Gilmore CC, Grote MN. 2012. Estimating age from adult occlusal wear: A modification of the miles method. *Am J Phys Anthropol* 149:181–92.
- Gleiser I, Hunt E. 1955. The permanent first molar: its calcification, eruption and decay. *Am J Phys Anthropol* 13:253–84. (citováno podle Mesotten a kol., 2002).
- Goldberg M, Kulkarni AB, Young M, Boskey A. 2011. Dentin: structure, composition and mineralization. *Front Biosci* 3:711–735.
- Goldberg M, Septier D, Lécolle S, Chardin H, Quintana MA, Acevedo AC, Gafni G, Dillouya D, Vermelin L, Thonemann B, Schmalz G, Bissila-Mapahou P, Carreau JP. 1995. Dental mineralization. *Int J Dev Biol* 39:93–110.
- Goodman AH, Rose JC. 1990. Assessment of systemic physiological perturbations from dental enamel hypoplasias and associated histological structures. *Yrbk Phys Anthropol* 33:59–110. (citováno podle Amoroso et al., 2014).
- Graham JP, O'Donnell CJ, Craig PJG, Walker GL, Hill J, Cirillo GN, Clark RM, Gledhill SR, Schneider-Kolsky ME. 2010. The application of computerized tomography (CT) to the dental ageing of children and adolescents. *Forensic Sci Int* 195:58–62.
- Greulich WW, Pyle SI. 1959. Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist, 2nd edition. Stanford: Stanford University Press. (citováno podle Ritz-Timme et al., 2000).
- Griffin RC, Chamberlain T, Hotz G, Penkman KEH, Collins MJ. 2009. Age estimation of archaeological remains using amino acid racemization in dental enamel: a comparison of morphological, biochemical, and known ages-at-death. *Am J Phys Anthropol* 140:244–52.
- Gupta A, Kohli A, Aggarwal NK, Banerjee KK. 2008. Study of age of fusion of hyoid bone. *Leg Med* 10:253–6.
- Gustafson G, Koch G. 1974. Age estimation up to 16 years of age based on dental development. *Odontol Revy* 25:297–306. (citováno podle Foti et al., 2003).
- Gustafson G. 1950. Age determination on teeth. *J Am Diet Assoc* 41:45–54.
- Haavikko K. 1970. The formation and the alveolar and clinical eruption of the permanent teeth. *Proc Finn Dent Soc* 69:93–8. (citováno podle Hillson, 1996).
- Hägg U, Matsson L. 1985. Dental maturity as an indicator of chronological age: the accuracy and precision of three methods. *Eur J Orthod* 7:25–34.
- Harris E, McKee J. 1990. Tooth mineralization standards for blacks and whites from the middle southern United States. *J Forensic Sci* 35:859–72. (citováno podle Blenkins, 2005).

- Hartnett KM. 2010. Analysis of age-at-death estimation using data from a new, modern autopsy sample – Part II: Sternal end of the fourth rib. *J Forensic Sci* 55:1152–6.
- Hassel B, Farman AG. 1995. Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 107:58–66.
- Hendl J. 2005. Kvalitativní výzkum: základní metody a aplikace. Praha: Portál.
- Hermanussen M. 2013. Auxology. Studying human growth and development. Stuttgart: Schweizerbart.
- Hershkovitz I, Latimer B, Dutour O, Jellema LM, Wish-Baratz S, Rothschild C, Rothschild BM. 1997. Why do we fail in aging the skull from the sagittal suture? *Am J Phys Anthropol* 103:393–9.
- Hillson S. 1996. Dental anthropology. Cambridge: University Press.
- Hillson S. 2005. Teeth, 2nd edition. Cambridge: University Press.
- Holly S. 1991. Standards of human tooth formation and dental age assessment. In: Kelley MA, Larsen CS, editors. *Advances in dental anthropology*. New York: Wiley-Liss.
- Houba R, Kreuzberg B, Zeman J. 1999. Základy radiodiagnostiky a ostatních zobrazovacích metod ve stomatologii, 1. vydání. Praha: Karolinum.
- Hyndman RJ, Koehler AB. 2006. Another look at measures of forecast accuracy. *Int J Forecast* 22:679–88.
- Chaillet N, Nyström M, Demirjian A. 2005. Comparison of dental maturity in children of different ethnic origins: international maturity curves for clinicians. *J Forensic Sci* 50:1164–74.
- Chaillet N, Willems G. 2004. Dental maturity in Belgian children using Demirjian's method and polynomial functions: new standard curves for forensic and clinical use. *J Forensic Odontostomatol* 22:18–27.
- Igarashi Y, Uesu K, Wakebe T, Kanazawa E. 2005. New method for estimation of adult skeletal age at death from the morphology of the auricular surface of the ilium. *Am J Physic Anthropol* 128:324–39.
- Jain AK, Mao J, Mohiuddin KM. 1996. Artificial neural networks: A tutorial. *Computer* 29:31–44.
- Janqueira LC, Carneiro J, Kelley RO. 1997. Základy histologie, 7. vydání, Jinočany: H&H.
- Jansová K, Eber M. 1996. Preklinická stomatologie I. část – morfologická, 2. vydání. Olomouc: Univerzita Palackého.
- Jayaraman J, Wong HM, King N, Roberts G. 2013. Secular trends in the maturation of permanent teeth in 5 to 6 years old children. *Am J Hum Biol* 25:329–34.
- Jussila M, Thesleff I. 2012. Signaling networks regulating tooth organogenesis and regeneration, and the specification of dental mesenchymal and epithelial cell lineages. *Cold Spring Harb Perspect Biol* 4:1–13. (citováno podle Mitsiadis et al., 2014).

- Kabinet software a výuky matematiky, Matematicko-fyzikální fakulta UK. 2015. Morphomet3cs 2.0. Praha, Česká republika. URL: <http://www.morphome3cs.com/>
- Kagerer P, Grupe G. 2001. Age-at-death diagnosis and determination of life-history parameters by incremental lines in human dental cementum as an identification aid. *Forensic Sci Int* 118:75–82.
- Kaupová S, Herrscher E, Velemínský P, Cabut S, Poláček L, Brůžek J. 2014. Urban and rural infant-feeding practices and health in early medieval Central Europe (9th-10th Century, Czech Republic). *Am J Physic Anthropol* 155:635–51.
- Keinan D, Smith P, Zilberman U. 2006. Microstructure and chemical composition of primary teeth in children with Down syndrome and cerebral palsy. *Arch Oral Biol* 51:836–43.
- Kelly A, Pomarico L, De Souza IPR. 2009. Cessation of dental development in a child with idiopathic hypoparathyroidism: a 5-year follow-up *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 107:673–7.
- Kirsty L, Bruce A. 2005. Age written in teeth by nuclear tests. *Nature* 437:333–4.
- Kirzioglu Z, Ceyhan D. 2012. Accuracy of different dental age estimation methods on Turkish children. *Forensic Sci Int* 216:61–67.
- Komínek J, Rozkocová E. 1984. Metoda určování zubního věku. In: Urban F, editor. *Pokroky ve stomatologii*. Praha: Avicenum. (citováno podle Ritz-Timme et al., 2000).
- Koshy S, Tandon S. 1998. Dental age assessment: the applicability of Demirjian's method in south Indian children. *Forensic Sci Int* 94:73–85.
- Kreitner K, Schweden F, Riepert T. 1998. Bone age determination based on the study of the medial extremity of the clavicle. *Eur Radiol* 8:1116–22.
- Kumar CHL, Sridhar MS. 1990. Estimation of the age an individual based on times of eruption of permanent teeth. *Forensic Sci Int* 48:1–7.
- Kumasaka S, Miyagi A, Sakai N. 1997. Oligodontia: a radiographic comparison of subjects with Down syndrome and normal subjects. *Spec Care Dentist* 17:137–41.
- Kurki H. 2005. Use of the first rib for adult age estimation: a test of one method. *Int J Osteoarchaeol* 15:342–50.
- Kvaal SI, Kolltveit MK, Thomsen IO, Solheim T. 1995. Age estimation of adults from dental radiographs. *Forensic Sci Int* 74:175–85.
- Lai MC, King NM, Wong HM. 2009. Abnormalities of maxillary anterior teeth in Chinese children with cleft lip and palate. *Cleft Palate Cran J* 46:58–64.
- Lamendin H, Baccino E, Humbert JF, Taverier IC, Nossintchouk RM, Zerilli A. 1992. A simple technique for age estimation in adult corpses: the two criteria dental method. *J. Forensic Sci* 37:1373–9. (citováno podle Acharya a Kumar, 2011).

- Lampl M, Johnston FE. 1996. Problems in the aging of skeletal juveniles: perspectives from maturation assessments of living children. *Am J Phys Anthropol* 101:345–55.
- Landis JR, Koch GG. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33:159–74.
- Lee S-S, Kim D, Lee S, Lee U-Y, Seo JS, Ahn YW, Han S-H. 2011. Validity of Demirjian's and modified Demirjian's methods in age estimation for Korean juveniles and adolescents. *Forensic Sci Int* 211:41–6.
- Leurs IH, Wattel E, Aartman IH, Etty E, Prah-Andersen B. 2005. Dental age in Dutch children. *Eur J Orthodont* 27:309–14.
- Lewis A, Garn S. 1960. The relationship between tooth formation and other maturational factors. *Angle Orthod* 30:70–7.
- Little JW. 2006. Thyroid disorders. Part I: hyperthyroidism. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 101:276–84.
- Liversidge HM, Chaillet N, Mörnstad H, Nyström M, Rowlings K, Taylor J, Willems G. 2006. Timing of Demirjian's tooth formation stages. *Ann Hum Biol* 33:454–70.
- Liversidge HM, Molleson T. 2004. Variation in crown and root formation and eruption of human deciduous teeth. *Am J of Phys Anthropol* 123:172–80.
- Liversidge HM, Speechly T, Hector MP. 1999. Dental maturation in British children: are Demirjian's standards applicable? *Int J Paediatr Dent* 9:263–69.
- Liversidge HM. 2008. Timing of human mandibular third molar formation. *Ann Hum Biol* 35:294–321.
- Loevy HT, Goldberg AF. 1999. Shifts in tooth maturation patterns in non-French Canadian boys. *Int J Paediatr Dent* 9:105–110.
- Lovejoy CO. 1985. Dental wear in the Libben population: its functional pattern and role in the determination of adult skeletal age at death. *Am J Phys Anthropol* 68:47–56.
- Lu Y, Papagerakis P, Yamakoshi Y, Hu JCC, Bartlett JD, Simmer JP. 2008. Functions of KLK4 and MMP-20 in dental enamel formation. *Biol Chem* 389:695–700.
- Maber M, Liversidge HM, Hector MP. 2006. Accuracy of age estimation of radiographic methods using developing teeth. *Forensic Sci Int* 159 Suppl:S68–73.
- Maia MCG, Martins MDGA, Germano FA, Brandão Neto J, Da Silva CAB. 2010. Demirjian's system for estimating the dental age of northeastern Brazilian children. *Forensic Sci Int* 200:177.e1–4.
- Maki K, Morimoto A, Nishioka T, Kimura M, Braham RL. 1999. The impact of race on tooth formation. *ASDC J Dent Child* 66:353–6. (pouze abstrakt).
- Malhotra R, Malhotra D. 2003. Evaluating consumer loans using neural networks. *Omega* 31:83–96.

- Marks SC, Schroeder HE. Tooth eruption: Theories and facts. 1996. *Anat Rec.* 245:374–93.
- Marshall WA, Tanner JM. 1969. Variations in pattern of pubertal changes in girls. *Arch Dis Child* 44:291–303.
- Marshall WA, Tanner JM. 1970. Variations in the pattern of pubertal changes in boys. *Arch Dis Child* 45:13–23.
- Marshall WA. 1981. Geographical and ethnic variations in human growth. *British Medical Bulletin* 37:273–9. (citováno podle Blenkin, 2005).
- Martins R, Oliveira PE, Schmitt A. 2012. Estimation of age at death from the pubic symphysis and the auricular surface of the ilium using a smoothing procedure. *Forensic Sci Int* 219:287.e1–7.
- Meloun M, Militký J, Hill M. 2005. Počítačová analýza vícerozměrných dat v příkladech, 1. vydání. Praha: Academia.
- Melsen B, Wenzel A, Miletic T, Andreasen J, Vagn-Hansen PL, Terp S. 1986. Dental and skeletal maturity in adoptive children: assessments at arrival and after one year in the admitting country. *Ann Hum Biol* 13: 153–9.
- Merwin DR, Harris EF. 1998. Sibling similarities in the tempo of human tooth mineralization. *Arch Oral Biol* 43:205–10.
- Mesotten K, Gunst K, Carbonez A, Willems G. 2002. Dental age estimation and third molars: a preliminary study. *Forensic Sci Int* 129:110–5.
- Miles AEW. 1963. Dentition in the Estimation of Age. *J Dent Res* 42:255–63.
- Miloglu O, Celikoglu M, Dane A, Cantekin K, Yilmaz AB. 2011. Is the assessment of dental age by the Nolla method valid for eastern Turkish children? *J Forensic Sci* 56:1025–8.
- Mitsiadis TA, Graf D. 2009. Cell fate determination during tooth development and regeneration. *Birth Defects Res C Embryo Today* 87:199–211.
- Moghim S, Talebi M, Parisay I. 2012. Design and implementation of a hybrid genetic algorithm and artificial neural network system for predicting the sizes of unerupted canines and premolars. *Eur J Orthodont* 34:480–6.
- Moorrees CF, Fanning EA, Hunt EE. 1963. Age variation of formation stages for ten permanent teeth. *J Dent Res* 42:1490–502.
- Näsman M, Forsberg CM, Dahllöf G. 1997. Long-term dental development in children after treatment for malignant disease. *Eur J Orthodont* 19:151–9.
- Nelson SJ, Ash MM. 2010. Wheeler's Dental Anatomy, Physiology and Occlusion, 9th edition. St. Louis: Saunders.
- Nemeskéri J, Harsanyi L, Ascádi G. 1960. Methoden zur Diagnose des Lebensalters von Skelettfunden. *Anthrop Anz.* 24:70–95. (citováno podle Dobisíková, 1999).
- Nolla CM. 1960. The development of permanent teeth. *J Dent Child* 27: 254–66.

- Nykänen R, Espeland L, Kvaal SI, Krogstad O. 1998. Validity of the Demirjian method for dental age estimation when applied to Norwegian children. *Acta Odontol Scand* 56:238–44.
- Nyström M, Peck L, Kleemola-Kujala E, Evälahti M, Kataja M. 2000. Age estimation in small children: reference values based on counts of deciduous teeth in Finns. *Forensic Sci Int* 110:179–88.
- Ohtani S. 1995. Estimation of age from the teeth of unidentified corpses using the amino acid racemization. *Am J Forensic Med Pathol*:238–42.
- Olze A, Taniguchi M, Schmeling A, Zhu B. 2003. Comparative study on the chronology of third molar mineralization in a Japanese and a German population. *Leg Med* 5:256–60.
- Olze A, Van Niekerk P, Ishikawa T, Zhu BL, Schulz R, Maeda H, Schmeling A. 2007. Comparative study on the effect of ethnicity on wisdom tooth eruption. *Int J Legal Med* 121:445–8.
- Olze A, Van Niekerk P, Schmidt S, Wernecke K-D, Rösing FW, Geserick G, Schmeling A. 2006. Studies on the progress of third-molar mineralisation in a Black African population. *Homo* 57:209–17.
- Orhan K, Ozer L, Orhan A. 2007. Radiographic evaluation of third molar development in relation to chronological age among Turkish children and youth. *Forensic Sci Int* 165:46–51.
- Ottow C, Krämer JA, Olze A, Schmidt S, Schulz R, Wittschieber D, Heindel W, Pfeiffer H, Ribbecke S, Vieth V, Schmeling A. Magnetresonanztomographiestudie zur Altersschätzung von unbegleiteten minderjährigen Flüchtlingen. *Rechtsmedizin* 25:12–20.
- Paliwal M, Kumar UA. 2009. Neural networks and statistical techniques: A review of applications. *Expert Syst Appl* 36:2–17.
- Panchbhai AS. 2011. Dental radiographic indicators, a key to age estimation. *Dentomaxillofac Radiol* 40:199–212
- Pasciuti E, Franchi L, Baccetti T, Milani S, Farronato G. 2013. Comparison of three methods to assess individual skeletal maturity. *J Orofac Orthop* 74:397–408.
- Pechníková M, Gibelli D, Vecchio V, Cameriere R, De Angelis D, Cattaneo C. 2012. Rozdílnosti v zubním věku dvojčat určeném z RTG snímků. *Acta Musei Nationalis Pragae* 66:11–16.
- Pelsmaekers B, Loos R. 1997. The genetic contribution to dental maturation. *J Dent Res* 76:1337–40.
- Polder BJ, Van't Hof MA, Van der Linden VP, Kuijpers-Jagtman AM. 2004. A meta-analysis of the prevalence of dental agenesis of permanent teeth. *Community Dent Oral Epidemiol* 32:217–26.
- Prabhakar, Panda, Raju. 2002. Applicability of Demirjian's method of age assessment in children of Davangere. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 20:54–62.
- Procházka B. 2015. *Stručná biostatistika pro lékaře*. Praha: Karolinum.

- Psoter W, Gebrian B, Prophete S, Reid B, Katz R. 2008. Effect of early childhood malnutrition on tooth eruption in Haitian adolescents. *Community Dent Oral Epidemiol* 36:179–89.
- R Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>
- Rai B, Kaur J, Jafarzadeh H. 2010. Dental age estimation from the developmental stage of the third molars in Iranian population. *J Forensic Leg Med* 17:309–11.
- Richards MP, Mays S, Fuller BT. 2002. Stable carbon and nitrogen isotope values of bone and teeth reflect weaning age at the Medieval Wharram Percy site, Yorkshire, UK. *Am J Physic Anthropol* 119:205–10.
- Ritz-Timme S, Cattaneo C, Collins MJ, Waite ER, Schütz HW, Kaatsch HJ, Borrman HI. 2000. Age estimation: the state of the art in relation to the specific demands of forensic practise. *J Forensic Leg Med* 113:129–36.
- Robinson C, Brookes SJ, Shore RC, Kirkham J. 1998. The developing enamel matrix: nature and function. *Eur J Oral Sci* 106:282–91.
- Rojas R. 1996. *Neural Networks*. Berlin: Springer-Verlag.
- Rösing FW, Kvaal SI. 1998. Dental age in Adults – A review of estimation methods. In: Alt WK, Rösing FW, Teschler-Nicola M, editors. *Dental anthropology. Fundamentals, limits, and prospects*. New York: Springer-Verlag/Wien.
- Rozkovicová E, Marková M, Láník J, Zvárová J. 2004. Development of third molar in the Czech population. *Prague Med Rep* 105:391–420.
- Rózyło-Kalinowska I, Kiworkowa-Raczkowska E, Kalinowski P. 2008. Dental age in Central Poland. *Forensic Sci Int* 174:207–16.
- Řeháková B. 2008. Kontrasty v logistické regresi. *Sociologický časopis* 44:745–65.
- Sasso A, Spalj S, Mady Maričić B, Sasso A, Cabov T, Legović M. 2013. Secular trend in the development of permanent teeth in a population of Istria and the littoral region of Croatia. *J Forensic Sci* 58:673–7.
- Scheur L, Black S, Cunningham C. 2000. *Developmental Juvenile Osteology*. London: Elsevier Academic Press.
- Schmeling A, Olze A, Reisinger W, Rösing FW, Geserick G. 2003. Forensic age diagnostics of living individuals in criminal proceedings. *Homo* 54:162–9.
- Schmeling A, Reisinger W, Loreck D, Vendura K, Markus W, Geserick G. 2000. Effects of ethnicity on skeletal maturation: consequences for forensic age estimations. *Int J Legal Med* 113:253–8.
- Schour I, Massler M. 1941. The development of the human dentition. *J Am Dent Assoc* 28:1153–60. (citováni podle AlQuahtani, 2010).

- Schuller-Götzburg P, Suchanek J. 2007. Forensic odontologists successfully identify tsunami victims in Phuket, Thailand. *Forensic Sci Int* 171:204–7.
- Simmer J, Papagerakis P, Smith CE, Fisher DC, Rountrey AN, Zheng L, Hu JCC. 2010. Regulation of dental enamel shape and hardness. *J Dent Research* 89:1024–38.
- Simmer JP, Fincham AG. 1995. Molecular mechanisms of dental enamel formation. *Crit Rev Oral Biol Med* 6:84–108.
- Simsek F. 2005. The secular trends in height and weight of Turkish school children during 1993–2003. *Child Care Health Dev* 441–7.
- Singh K, Gorea R, Bharti V. 2004. Age estimation from eruption of temporary teeth. *J Indian Acad Oral Med Radiol* 26:971–3.
- Sinha A, Gupta V. 1995. A study on estimation of age from pubic symphysis. *Forensic Sci Int* 75:73–8.
- Smith BH. 1991. Standards of human tooth formation and dental age assesment. In: Kelly MA, Larsen CS, editors. *Advances in dental anthropology*. New York: Wiley–Liss. (citováno podle Hillson, 1996).
- Solheim T, Sundnes PK. 1980. Dental age estimation of Norwegian adults: a comparison of different methods. *Forensic Sci Int* 16:7–17. (citováno podle Babshet et al., 2010).
- Solheim T, Vonen A. 2006. Dental age estimation, quality assurance and age estimation of asylum seekers in Norway. *Forensic Sci Int* 159 Suppl:S56–60.
- Solheim T. 1988. Dental color as an indicator of age. *Gerodontology* 4:114–8. (citováno podle Acharya a Kumar, 2011).
- Stanford C, Allen JS, Anton SC. 2013. *Biological Anthropology*, 3rd edition. New Jersey: Pearson.
- Statsoft CR. 2013. Statistica 12. URL www.statistica.cz
- Stodder A. 1997. Subadult stress, morbidity, and longevity in Latte Period populations on Guam, Mariana Islands. *Am J Phy Anthropol* 380:363–80.
- Suma G, Rao BB, Annigeri RG, Rao DJ, Goel S. 2011. Radiographic correlation of dental and skeletal age: Third molar, an age indicator. *J Forensic Dent Sci* 3:14–8.
- Swami D, Mishra VK, Bahl L, Rao CM. 1992. Age estimation from eruption of temporary teeth in himachal pradesh. *J Forensic Med Toxicol* 9:3–7.
- Szilvássy J, and Kritschner H. 1960. Bestimmung des individuellen Lebensalters beim Menschen mit Hilfe der Spongiosastruktur der Langknochen. *Ann Naturhist Mus Wien* 91/A: 145–54. (citováno podle Dobisíková, 1999).
- Šmahel Z. 2001. *Principy, teorie a metody auxologie*. Praha: Karolinum.

- Tanner M, Whitehouse RH, Marshall WA, Healy MJR, Goldstein H. 1975. Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW2 Method), Academic Press: London. (citováno podle Pasciuti et al., 2013)
- Teivens A, Mörnstad H. 2001. A modification of the Demirjian method for age estimation in children. *J Forensic Odontostomatol* 19:26–30.
- Temoananui R, Kieser JA, Herbison GP, Liversidge HM. 2008. Estimating Age in Maori, Pacific Island, and European Children from New Zealand. *J Forensic Sci* 53:401–4.
- Temple DH, Nakatsukasa M, McGroarty JN. 2012. Reconstructing patterns of systemic stress in a Jomon period subadult using incremental microstructures of enamel. *J Arch Sci* 39:1634–41.
- Thesleff I, Sharpe P. 1997. Signalling networks regulating dental development. *Mech Develop* 67:111–23.
- Townsend N, Hammel E. 1990. Age estimation from the number of teeth erupted in young children: an aid to demographic surveys. *Demography* 27:165–74.
- Triratana T, Hemindra D, Kiatiparjuk C. 1990. Eruption of permanent teeth in malnutrition children, *J Dental Assoc Thai* 40:100–8. (citováno podle Foti et al., 2003).
- Tunc E Sen, Koyuturk AE. 2008. Dental age assessment using Demirjian's method on northern Turkish children. *Forensic Sci Int* 175:23–6.
- Türp J, Alt K. 1998. Anatomy and morphology of human teeth. In: Alt K, Rösing F, Teschler-Nicola M, editors. *Dental anthropology: fundamentals, limits, and prospects*. New York, NY: Springer.
- Ubelaker DH. 1978. Estimating age at death from human skeletons: an overview. *J Forensic Sci* 32:1254–63. (citováno podle Hillson, 1996).
- Ubelaker DH. 1989. *Human Skeletal Remains*, 2nd edition, Washington, DC: Taraxacum.
- Urzel V, Bruzek J. 2013. Dental age assessment in children: a comparison of four methods in a recent French population. *J Forensic Sci* 58:1341–7.
- Vacek Z. 2006. *Embryologie*. Praha: Grada Publishing.
- Velemínska J, Pilný A, Cepek M, Kotová M, Kubelková R. 2013. Dental age estimation and different predictive ability of various tooth types in the Czech population: data mining methods. *Anthropol Anz.* 70:331–45.
- Vignerová J, Brabec M, Bláha P. 2006. Two centuries of growth among Czech children and youth. *Econ Hum Biol* 4:237–52.
- Vlček E. 1980. Estimation of age from skeletal material based on the degree of thyroid cartilage ossification. *Časopis sekce soudního lékařství Čs. lékařské společnosti J. E. Purkyně* 25:6–11.
- Vlček E. 1994. Metodika určování zubního věku podle stupně mineralizace chrupu v historické antropologii a paleoantropologii. *Stomatologické zprávy* 35:30–9.

- Vodanović M, Dumančić J, Galić I, Savić Pavičin I, Petrovečki M, Cameriere R, Brkić H. 2011. Age estimation in archaeological skeletal remains: evaluation of four nondestructive age calculation methods. *J Forensic Odontostomatol* 29:14–21.
- Volná E. 2008. Neuronové sítě 1., 2. vydání. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě.
- Vucic S, De Vries E, Eilers PHC, Willemsen SP, Kuijpers MR, Prahl-Andersen B, Jaddoe VWV, Hofman A, Wolvius EB. 2014. Secular trend of dental development in Dutch children. *Am J Phys Anthropol* 155:91–8.
- Weinberg SM, Scott NM, Neiswanger K, Marazita ML. 2005. Intraobserver error associated with measurements of the hand. *Am J Hum Biol* 17:368–71.
- Wheatherford LR, Gentry TW, Wilamowski B. 2002. Neural network forecasting for airlines: A comparative analysis. *J Revenue Pricing Management* 1:319–31.
- Whittaker D. 1995. Forensic dentistry in the identification of victims and assailants. *J Clin Forensic Med Medicine* 145:145–151.
- Willems G, Olmen AV, Spiessens B, Carels C. 2001. Dental age estimation in Belgian children: Demirjian's technique revisited. *J Forensic Sci* 46:893–5.
- Willems G, Thevissen PW, Belmans A, Liversidge HM. 2010. Willems II. Non-gender-specific dental maturity scores. *Forensic Sci Int* 201:84–5.
- Willmott CJ, Matsuura K. 2005. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research* 30:79–82.
- Wittwer-Backofen U, Gampe J, Vaupel JW. 2004. Tooth cementum annulation for age estimation: results from a large known-age validation study. *Am J Phys Anthropol* 123:119–29.
- Wood J. 1996. The geomorphological characterisation of digital elevation models, PhD Thesis. Leicester: University of Leicester.
- Yan J, Lou X, Xie L, Yu D, Shen G, Wang Y. 2013. Assessment of dental age of children aged 3.5 to 16.9 years using Demirjian's method: a meta-analysis based on 26 studies. *PLoS ONE* 8:e84672.
- Zangouei-Booshehri M. 2011. Assessment of the relationship between body mass index (BMI) and dental age. *Health* 3:253–7.
- Zhou L, Corruccini R. 1998. Enamel hypoplasias related to famine stress in living Chinese. *Am J Hum Biol* 733:723–33.
- Zong X-N, Li H, Zhu Z-H. 2011. Secular trends in height and weight for healthy Han children aged 0-7 years in China, 1975-2005. *Am J Hum Biol* 23:209–15.
- Zvára K. 2006. Biostatistika. Praha: Karolinum.
- Zvárová J. 2002. Základy statistiky pro biomedicínské obory. Praha: Karolinum.